

MODELADO 4D Y MONITOREO DE PRODUCTIVIDAD IP EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

GABRIEL AGUILAR LOPERA

**Trabajo de grado para obtener el título de
Magíster en Ingeniería, con énfasis en Gestión de la Construcción**

Asesor: LUIS FERNANDO BOTERO BOTERO

MEDELLÍN

UNIVERSIDAD EAFIT

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

2015

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Medellín, 20 de Octubre de 2015

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas las personas y empresas que de una u otra manera aportaron a la realización de este proyecto, desde su experiencia, su conocimiento, su apoyo y su enseñanza:

A las empresas Estructuras y Sísmica S.A.S y Cantagirone por la confianza depositada en mi para la estructuración técnica y el apoyo financiero para el desarrollo del proyecto.

Luis Fernando Botero, Ingeniero Civil, Máster en ingeniería y tutor de este proyecto, por su participación activa, y el aporte de su conocimiento y experiencia.

Jose Antonio Galeano, estudiante de Ingeniería Civil y miembro del semillero de investigación en gestión de la construcción de la universidad EAFIT, por el apoyo técnico en la elaboración del modelo 3D.

Manuela Aguilar Lopera, Ingeniera de Diseño del Producto, Especialista en Gerencia de Proyectos, por su asesoría en la implementación de la metodología de investigación propuesta en el proyecto.

A mi familia por el apoyo que siempre he sentido de parte de todos para lograr los objetivos que me propongo y en especial a Dios, por brindarme la oportunidad de seguir avanzando en el desarrollo de nuevos conocimientos.

RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN.....	16
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
2 JUSTIFICACIÓN	21
3 OBJETIVOS.....	22
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
4 MARCO DE REFERENCIA.....	23
4.1 GESTIÓN DE PROYECTOS.....	23
4.1.1. Contexto histórico.....	23
4.1.2. Características de la gestión de proyectos.....	26
4.2 GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA	29
4.2.1 Contexto histórico.....	29
4.2.2 Sector de la construcción en Colombia.....	31
4.2.3 TIC en la construcción	35
4.3 REALIDAD VIRTUAL	36
4.3.1 Generalidades	36
4.3.2 Aplicaciones	37
4.4 BIM.....	38
4.4.1 Generalidades	38
4.4.2 Modelado 4D y Dimensiones BIM.....	39
4.4.3 Gestión de proyectos con BIM.....	40
4.4.4 Softwares BIM	41
4.4.5 Ventajas de BIM en proyectos reales	46
4.5 MONITOREO IP DE PROYECTOS	48
4.5.1 Referentes internacionales	49
4.5.2 Referentes nacionales.....	56
5 MARCO PRÁCTICO.....	60
5.1 INTRODUCCIÓN.....	60
5.2 CONTEXTUALIZACIÓN	60
5.2.1 Proceso local de gestión y desarrollo de proyectos de construcción de vivienda privada	60

5.2.2	Proceso de modelado 4d en la fase de planificación	63
5.2.3	Monitoreo de productividad ip en la fase de ejecución de obra	64
5.3	METODOLOGÍA	66
5.4	DESARROLLO	67
5.4.1	Descripción del proyecto	67
5.4.2	Modelo 3D estructural	68
5.4.3	Modelo 3D arquitectónico	75
5.4.4	Vinculación de modelos arquitectónicos y estructurales	79
5.4.5	Cantidades de obra	80
5.4.6	Modelo 4D de la estructura	81
5.4.7	Sistema de monitoreo IP	83
5.5	RESULTADOS Y ANÁLISIS	94
5.5.1	Modelación 3D	94
5.5.2	Informe de monitoreo	99
5.5.3	Contraste de monitoreo con modelo 4D	119
5.5.4	Alternativas para mejorar productividad	124
6	APLICACIÓN	127
6.1	PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN	127
6.1.1	Tipos de proyectos	127
6.1.2	Requerimientos	129
6.1.3	Beneficios	129
7	CONSIDERACIONES FINALES	131
8	BIBLIOGRAFÍA	133

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principales hitos en la historia de la gestión de proyectos	24
Tabla 2. Métodos tradicionales de gestión de proyectos.....	24
Tabla 3.Herramientas informáticas para la gestión de proyectos.	25
Tabla 4. Grupos básicos de procesos de gestión de proyectos.....	26
Tabla 5. Áreas de conocimiento de gestión de proyectos.	27
Tabla 6. Características de la gestión actual	29
Tabla 7. Partes involucradas en el proceso de construcción tradicional local	61
Tabla 8. Descripción del proyecto.	67
Tabla 9. Cuadro comparativo de equipos para monitoreo IP.....	84
Tabla 10. Listado de trabajadores con número de identificación asignado.....	88
Tabla 11. Volúmenes de elementos para pedidos de concreto.....	97
Tabla 12.Monitoreo de fundido de columnas.....	99
Tabla 13. Análisis rendimientos.	101
Tabla 14. Rendimientos de fundido de placa.....	116
Tabla 15. Ciclos de las placas.	120
Tabla 16. Tipos de proyectos para la aplicación de la metodología.	127

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Triple restricción del proyecto. Fuente. Adaptado de (Fajardo, 2015)	27
Ilustración 2. Fases de un proyecto Fuente. Adaptado de (Project Management Institute, 2013)	28
Ilustración 3. Cadena de valor del cluster de construcción Fuente. Adaptado de (CAMACOL, 2008)	31
Ilustración 4. Brechas en la Cadena de valor del cluster de construcción Fuente. (CAMACOL, 2008)	33
Ilustración 5. PIB total, Valor Agregado Construcción y subsectores I Trim 2015 Fuente. (DANE, 2015)	34
Ilustración 6. Población ocupada total nacional y en la rama de actividad construcción. Fuente. (DANE, 2015)	34
Ilustración 7. Dimensiones BIM Fuente. (García, 2014)	39
Ilustración 8. Proyecto desarrollado con ALLPLAN. Aeropuerto de Erihgy Budapest, Hungría. Fuente. (ALLPLAN, 2015)	42
Ilustración 9. Caso real con REVIT: Torre central de Shanghai Fuente. (Autodesk Revit, 2015)	43
Ilustración 10. Caso de estudio proyecto AECOM con Navisworks Fuente. (Autodesk Navisworks, 2015)	44
Ilustración 11. Caso real con VICO en Finlandia. Fuente. (Vico Software, Inc., 2015)	44
Ilustración 12. Aplicación de Tekla BIMsight en dispositivos tecnológicos. Fuente. (Tekla BIMsight, 2015)	45
Ilustración 13. partes y configuración de un sistema de monitoreo IP Fuente. (D-Link, 2012)	48
Ilustración 14. Descripción PHOTO-NET II Fuente. (Abeid, J.; Allouche, E.; Arditi, D.; Hayman, M., 2003)	50
Ilustración 15. Pantalla de programación dinámica, PHOTO-NET II. Fuente. (Abeid, J.; Allouche, E.; Arditi, D.; Hayman, M., 2003)	51
Ilustración 16. Comparación de Imágenes. Fuente. (Earthcam, 2015)	55
Ilustración 17. Herramientas de edición. Fuente. (Earthcam, 2015)	55
Ilustración 18. Registro fotográfico. Fuente. (Earthcam, 2015)	55
Ilustración 19. Pantalla de inicio IDEO Fuente. (Estructuras & Sísmica S.A.S, 2012)	58
Ilustración 20. Ubicación de niveles de construcción en plano de alzada. Fuente. Elaboración propia.	69
Ilustración 21. Proceso de ubicación de las pilas según plano de cimentaciones. Fuente. Elaboración propia.	69
Ilustración 22. Placa de cimentación. Fuente. Elaboración propia.	70
Ilustración 23. Crear tipos de columnas con los parámetros de diseño. Fuente. Elaboración propia.	70
Ilustración 24. Insertar columnas según los tipos y niveles. Fuente. Elaboración propia.	71
Ilustración 25. Insertar columnas según los tipos y niveles (2). Fuente. Elaboración propia.	71

Ilustración 26. Crear loseta teniendo en cuenta juntas de vaciado.	Fuente.
Elaboración propia.....	72
Ilustración 27. placa típica niveles pares del 6 al 18	
Fuente. Elaboración propia.	72
Ilustración 28. Niveles de copiado.	Fuente.
Elaboración propia.....	73
Ilustración 29. Modelo 3D estructural.	
Fuente. Elaboración propia.	74
Ilustración 30. Tipos de muros en una planta.	
Fuente. Elaboración propia.	75
Ilustración 31. Pisos y acabados.	
Fuente. Elaboración propia.	76
Ilustración 32. Cielo falso.	
Fuente. Elaboración propia.	76
Ilustración 33. Ventanas.	Fuente.
Elaboración propia.....	77
Ilustración 34. Tipos de puertas.	
Fuente. Elaboración propia.	77
Ilustración 35. Modelo arquitectónico 3D.	
Fuente. Elaboración propia.	78
Ilustración 36. Modelo integrado 3D	Fuente.
Elaboración propia.....	79
Ilustración 37. Vista de cantidades desde Revit	Fuente.
Elaboración propia.....	80
Ilustración 38. Modelo estructural 3D importado desde Navisworks.	
Fuente. Elaboración propia.	81
Ilustración 39. Archivo con la programación vinculada.	
Fuente. Elaboración propia.	82
Ilustración 40. Sets de selección.	
Fuente. Elaboración propia.	82
Ilustración 41. Simulación del proceso constructivo.	
Fuente. Elaboración propia.	83
Ilustración 42. Proceso de instalación de la cámara.	
Fuente. Elaboración propia.	86
Ilustración 43. Asignación de identificación y firma de consentimiento.	
Fuente. Elaboración propia.	87
Ilustración 44. Casco con identificación asignada.	Fuente. Elaboración propia.
.....	87
Ilustración 45. Cuadrilla con numeración asignada.	
Fuente. Elaboración propia.	88
Ilustración 46. Formato de consentimiento de monitoreo al personal.	
Fuente. Elaboración propia.	90
Ilustración 47. Pantalla de inicio de IDEO.	
Fuente. Elaboración propia.	91
Ilustración 48. Ingreso de códigos del personal a IDEO.	
Fuente. Elaboración propia.	91
Ilustración 49. Imágenes de prueba desde la cámara.	Fuente. Elaboración propia.
Ilustración 50. Monitoreo de actividades de fundida de placa..	
Fuente. Elaboración propia.	93
Ilustración 51. Imagen exportada de IDEO en pleno monitoreo de fundida de placa.	
Fuente. Elaboración propia.	93

Ilustración 52. Planta 4 superpuesta con la 3		
Fuente. Elaboración propia.		94
Ilustración 53. Diferencia entre bordes de placa niveles 3 y 4.		
Fuente. Elaboración propia.		95
Ilustración 54. Desfase en ajuste de muros y prefabricados.		
Fuente. Elaboración propia.		96
Ilustración 55. Planta nivel 5.		
Fuente. Elaboración propia.		97
Ilustración 56. Zonas de disposición de desperdicios.		
Fuente. Elaboración propia.		98
Ilustración 57. Mixer descargando concreto sobrante.	Fuente.	
Elaboración propia.		98
Ilustración 58. Columna 1A		
Fuente. Elaboración propia.		102
Ilustración 59. Rendimientos fundido columna 1A.	Fuente. Elaboración	
propia.		102
Ilustración 60. COLUMNA 1B		
Fuente. Elaboración propia.		103
Ilustración 61. Rendimientos fundido columna 1B.	Fuente.	
Elaboración propia.		103
Ilustración 62. COLUMNA 2A		104
Ilustración 63. Rendimientos fundido columna 2A.	Fuente. Elaboración	
propia.		104
Ilustración 64. COLUMNA 2B		
Fuente. Elaboración propia.		105
Ilustración 65. Rendimientos fundido columna 2B.	Fuente.	
Elaboración propia.		105
Ilustración 66. COLUMNA 3A		
Fuente. Elaboración propia.		106
Ilustración 67. Rendimientos fundido columna 3A.	Fuente.	
Elaboración propia.		106
Ilustración 68. COLUMNA 3B		
Fuente. Elaboración propia.		107
Ilustración 69. Rendimientos fundido columna 3B.	Fuente.	
Elaboración propia.		107
Ilustración 70. COLUMNA 4A		
Fuente. Elaboración propia.		108
Ilustración 71. Rendimientos fundido columna 4A.	Fuente.	
Elaboración propia.		108
Ilustración 72. COLUMNA 4B		
Fuente. Elaboración propia.		109
Ilustración 73. Rendimientos fundido columna 4B.	Fuente.	
Elaboración propia.		109
Ilustración 74. MURO M1		
Fuente. Elaboración propia.		110
Ilustración 75. Rendimientos fundido muro M1.	Fuente. Elaboración	
propia.		110
Ilustración 76. MURO M2		
Fuente. Elaboración propia.		111
Ilustración 77. Rendimientos fundido muro M2.	Fuente. Elaboración	
propia.		111

Ilustración 78. MURO M3 PARTE 1		
Fuente. Elaboración propia.		112
Ilustración 79. Rendimientos fundido muro M3 parte 1.	Fuente.	
Elaboración propia.....		112
Ilustración 80. MURO M3 PARTE 2		
Fuente. Elaboración propia.		113
Ilustración 81. Rendimientos fundido muro M3 parte 2.	Fuente.	
Elaboración propia.....		113
Ilustración 82. MURO M4		
Fuente. Elaboración propia.		114
Ilustración 83. Rendimientos fundido muro M4.	Fuente. Elaboración	
propia.		114
Ilustración 84. MURO M5		
Fuente. Elaboración propia.		115
Ilustración 85. Rendimientos fundido muro M5.	Fuente. Elaboración	
propia.		115
Ilustración 86. Tomada del archivo TRE PIU ESTRUCTURAL.rvt .		
Fuente. Elaboración propia.		116
Ilustración 87. Rendimientos fundido placas	Fuente. Elaboración	
propia.		117
Ilustración 88. Duración fundido inicio – fin de las placas.	Fuente. Elaboración	
propia.		118
Ilustración 89. Ciclo entre fundido de placas.	Fuente. Elaboración propia.	
.....		118
Ilustración 90. DIAS MUERTOS ENTRE FUNDIDO DE PLACAS	Fuente. Elaboración	
propia.		119
Ilustración 91. Talud desestabilizado.		
Fuente. Elaboración propia.		120
Ilustración 92. Ejecución programada al 14/05/2015.		
Fuente. Elaboración propia.		121
Ilustración 93. Ejecución programada al 23/05/2015.	Fuente.	
Elaboración propia.....		121
Ilustración 94. Ejecución programada al 04/06/2015		
Fuente. Elaboración propia.		122
Ilustración 95. Ejecución programada al 17/06/2015.	Fuente.	
Elaboración propia.....		122
Ilustración 96. Ejecución programada al 03/07/2015.		
Fuente. Elaboración propia.		123
Ilustración 97. Ejecución programada al 16/07/2015..		
Fuente. Elaboración propia.		123
Ilustración 98. Ejecución programada al 29/07/2015.		
Fuente. Elaboración propia.		124
Ilustración 99. Columnas con acoples roscados y aceros al mismo nivel.		
Fuente. Elaboración propia.		125
Ilustración 100. Modelo 3D de canastas prefabricadas.		
Fuente. Elaboración propia.		126

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.

Modelo 3D estructural en REVIT.

ANEXO B.

Modelo 3d arquitectónico en REVIT.

ANEXO C.

Modelo 3D integrado en REVIT.

ANEXO D.

Modelo 4D en NAVISWORKS.

ANEXO E.

Ssimulación de la programación en vídeo.

ANEXO F.

Consentimientos firmados.

ANEXO G.

Cantidades de obra.

ANEXO H.

Ajuste de la programación de obra.

GLOSARIO

TIC: Las Tecnologías de la Información y la Comunicación, también conocidas como TIC, son el conjunto de tecnologías desarrolladas para gestionar información y enviarla de un lugar a otro. Abarcan un abanico de soluciones muy amplio. Incluyen las tecnologías para almacenar información y recuperarla después, enviar y recibir información de un sitio a otro, o procesar información para poder calcular resultados y elaborar informes.

REALIDAD VIRTUAL: puede ser inmersiva o no inmersiva: la inmersiva se basa en la simulación de un ambiente tridimensional el cual el usuario percibe a través de estímulos sensoriales. La no inmersiva opta por la visualización de los elementos virtuales por una pantalla, dando opción de interaccionar con otras personas a través de Internet.

BIM: El modelo de información para la edificación (BIM) es un método innovador para facilitar la comunicación entre los sectores de la arquitectura, la ingeniería y la construcción. Con BIM, arquitectos e ingenieros generan e intercambian información de manera eficiente, crean representaciones digitales de todas las fases del proceso de construcción y simulan el rendimiento en la vida real, lo que perfecciona el flujo de trabajo, aumenta la productividad y mejora la calidad

MODELADO 3D: es el proceso de desarrollar una representación matemática de cualquier objeto tridimensional (ya sea inanimado o vivo) a través de un software especializado. Al producto se le llama modelo 3D. Se puede visualizar como una imagen bidimensional mediante un proceso llamado renderizado 3D o utilizar en una simulación por computadora de fenómenos físicos.

MODELADO 4D: referido a la tecnología BIM, es el proceso que viene de representar 4 dimensiones determinadas por las tres dimensiones espaciales y una cuarta dimensión que la constituye el tiempo. Como resultado genera un modelo 4D en el que se asocia el modelo 3D con la programación de proyecto.

PRESUPUESTO DE OBRA: El presupuesto de obra lo definen como la tasación o estimación económica “a priori” de un producto o servicio. Se basa en la previsión del total de los costes involucrados en la obra de construcción incrementados con el margen de beneficio que se tenga previsto.

PROGRAMACIÓN DE OBRA: Se entiende por Programación de obra de un proyecto de construcción, al proceso de ordenar en el tiempo de forma lógica y secuencial la ejecución de cada una de las actividades necesarias para poder llevar a buen término el proyecto. Para esto, es necesario realizar la estructura de división del trabajo y posteriormente, hacer el cronograma de ejecución del proyecto.

REVIT: Revit® es un software de construcción y diseño de edificios que fue desarrollado por la compañía Autodesk® específicamente para la tecnología BIM, por lo que incluye funciones tales como: diseño arquitectónico, de construcción, de ingeniería estructural y la coordinación entre disciplinas.

NAVISWORKS: Es una familia de software desarrollado por Autodesk, que permite una visión integral de proyectos para los profesionales de AECO para: la coordinación 3D, planeación 4D, visualización foto realística, simulación dinámica, y análisis preciso combinando el análisis de información de edificios con la geometría y datos de otras herramientas de diseño.

MONITOREO IP: Hardware y software que permite realizar monitoreos de cualquier actividad desde uno o varios lugares diferente al lugar donde se está realizando la actividad, esto puede hacerse en tiempo real o mediante grabaciones.

PRODUCTIVIDAD: Es la relación que existe entre lo que se ha producido y los medios que se han empleado para conseguirlo (mano de obra, materiales, energía, etc.). La productividad está asociada a la eficiencia y al tiempo: cuanto menos tiempo se invierta en lograr el resultado anhelado, mayor será el carácter productivo de la actividad.

IDEO: Software desarrollado por Estructuras & Sísmica S.A.S, en el cual intervino directamente Gabriel Aguilar Lopera, el cual busca integrar el hardware usado para el monitoreo IP con una plataforma de adquisición de datos en las actividades monitoreadas, para luego realizar análisis de calidad, y productividad.

RESUMEN

El presente trabajo describe los procedimientos y resultados de la profundización en implementación de realidad virtual y las TIC en procesos constructivos de un proyecto real, por medio de herramientas de modelado BIM y monitoreo con cámaras IP, que se realizó con el propósito de explorar los resultados de la aplicación de estas tecnologías en un proyecto privado de vivienda, como ayudas en los procesos de las fases de planificación y ejecución de obra; para su desarrollo se realizó un proyecto piloto en el proyecto de vivienda privada Cantagirone Tre Piu, en la ciudad de Medellín, en el cual mediante la realización de modelos 3D y 4D, y empleando el software IDEO para el monitoreo de productividad IP, se pretendió comprobar la hipótesis de que, el modelado 4D y el monitoreo IP ayuda a mejorar los proyectos de construcción en su planificación y ejecución. Los resultados obtenidos parten de los informes de la supervisión técnica apoyada en la programación de obra, y la adquisición de datos que se obtuvieron del software IDEO durante el proceso de construcción de la estructura.

Como resultado final de la profundización se formula una propuesta de inclusión de modelado BIM 3D y 4D y monitoreo de productividad IP, como herramientas para la mejora de procesos constructivos.

Palabras clave: TIC, BIM, MODELO 4D, MONITOREO IP, PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN.

ABSTRACT

This project describes procedures and results of the research in implementation of virtual reality and ICT in the construction processes in a real project, using BIM modeling tools and monitoring with IP cameras, which was done with the purpose of exploring the results of the application of these technologies in a private housing project, as aids in the project phases of planning and executing phases. To develop it a pilot project was done in the private housing project Cantagirone Tre Piu, in Medellin city. In this pilot it was intended to test the hypothesis that the 4D modeling and IP monitoring helps improve construction projects in its planning and execution, by developing 3D and 4D models, and using the software IDEO for monitoring IP productivity. The results are based on the reports of the technical supervision work supported in the project programming and data was obtained from de IDEO software during the construction of the structure.

The final result is an implementation proposal to include 3D and 4D BIM modeling and IP productivity monitoring as tools to improve construction processes.

Keywords: ICT, BIM, 4D MODELING, IP MONITORING, CONSTRUCTION PROJECT.

INTRODUCCIÓN

En ámbito internacional la Gestión de Proyectos presenta un proceso de constante desarrollo y mejoramiento de procesos que permitan alcanzar tanto los estándares internacionales como las exigencias y desafíos de los mercados locales (Project Management Institute, 2015). Para esto las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación) juegan un papel fundamental (Corporación Colombia Digital, 2012), en el que diferentes herramientas, técnicas y metodologías tecnológicas, se han vuelto indispensables para poder realizar proyectos de manera organizada dentro del alcance y el tiempo y presupuesto planeado, debido entre otros aspectos a que permiten la adquisición de muchos datos en forma ordenada y permite procesarlos con mayor facilidad.

La Gestión de Procesos Constructivos, en particular, de la mano de la evolución del conocimiento y tecnología ha alcanzado un gran hito para la industria AECOM (arquitectura, ingeniería, construcción y administración), como lo es la tecnología y metodología BIM (Building Information Modeling) (Autodesk, 2015), la cual integra información administrativa con la realidad virtual, apoyada en modelos CAD y los últimos desarrollos metodológicos e informáticos, que permiten una mejor gestión de todas las fases del ciclo de vida del proyecto: planificación, diseño, ejecución, seguimiento y control, y cierre. Esto reflejado en una mejor comunicación entre las partes involucradas, tiempo, calidad, costo y productividad de los proyectos, entre otros aspectos.

El sector de la construcción en Colombia, no es ajeno a esta realidad, y en su reciente historia presenta iniciativas tanto del sector público como privado para implementar metodologías y herramientas tecnológicas en la búsqueda de mejorar sus procesos (CAMACOL, 2008). En el caso local la Universidad EAFIT en su programa de Ingeniería Civil adelanta investigaciones con el fin de conocer y adaptar las tendencias mundiales en el mercado local. De la mano de la academia, empresas privadas como Estructuras & Sísmica S.A.S, adelantan iniciativas de aplicación de dicho conocimiento y tecnología que apunten a necesidades concretas en proyectos reales de construcción en el sector.

Sin embargo, actualmente en Colombia es común que no se dedique gran cantidad de tiempo y esfuerzos a la fase de planificación, por lo que comúnmente se derivan problemas de falta de productividad, retrasos y sobrecostos. En el caso puntual de los diseños del proyecto normalmente no se depuran hasta que se inicia su construcción y generalmente las interferencias entre éstos se resuelven sobre la marcha y no las resuelve la persona idónea para esto, generando sobrecostos, retrasos o productos de mala calidad.

De esta manera en el presente trabajo se apunta a la necesidad realizar una planificación adecuada y una integración de diseños en el que se solucionen al máximo las posibles interferencias entre ellos, así como poder hacer seguimiento a esa planificación durante la ejecución de manera que se pueda contrastar lo real con lo planeado y solucionar los posibles inconvenientes de forma adecuada y a tiempo de manera que se afecte lo menos posible el alcance, el costo y el tiempo del proyecto Cantagirone Tre Piu, edificación de vivienda privada en la ciudad de Medellín, Antioquia, Colombia.

Para el presente trabajo, dentro de la gama de tecnologías BIM, se seleccionaron la Modelación 4D y el Monitoreo IP (por medio de cámaras), las cuales apuntan la necesidad anteriormente expuesta, debido a que mediante los modelos 4D es posible resolver las interferencias entre diseños antes de la construcción y mediante el monitoreo por cámaras se controla calidad y productividad con pruebas reales desde cualquier sitio en tiempo real.

Numerosos investigadores coinciden en afirmar que éstas representan valiosas herramientas para implementar en la gestión de proyectos con BIM (Kim C., Kim B., Kim H., 2013) y esto lo respaldan numerosos proyectos que las han implementado. A nivel internacional la modelación 4D ha sido muy utilizada, mientras que en Colombia pocos proyectos lo han hecho, los referentes que existen son especialmente académicos. Por otro lado, del monitoreo de productividad mediante cámaras en la construcción no existe referencia aun, y lo que existe es básicamente control de calidad y vigilancia.

En el presente trabajo se utilizó el software Revit para la modelación 3D y Navisworks para la modelación 4D y el software IDEO (Inspector de Obra) para el monitoreo de productividad IP, teniendo como soporte de la implementación diferentes TIC tales como software, hardware, internet y telecomunicaciones, las cuales son requeridas para la gestión y transformación de la información, y muy en particular el uso de ordenadores y programas que permiten crear,

modificar, almacenar, administrar, proteger y recuperar dicha información, lo cual es fundamental en el monitoreo IP.

La modelación 4D es un modelo BIM que asocia un modelo 3D a la programación del proyecto (Duque, 2013). Por esto se apoya en un modelo 3D, en el que se integran todos los diseños del proyecto: arquitectónico, estructural, eléctrico, hidrosanitario, entre otros y se solucionan por parte de profesionales expertos las posibles interferencias que ocurren en dicha integración. Finalmente se asocia la programación del proyecto incluyendo todas las actividades necesarias para lograr el alcance del proyecto. Existen diferentes software que permiten realizar estos modelos, (Revit, Navisworks, Vico, Tekla, entre otros), los cuales permiten realizar una simulación del proceso de construcción en la que las diferentes involucrados pueden visualizar el proceso constructivo y emplea dicha información de acuerdo con su necesidad. De esta manera, esta herramienta es de gran utilidad para la fase de planificación y diseño del proyecto, y es un soporte fundamental para la fase de ejecución y seguimiento.

Un sistema de monitoreo IP consiste en ubicar una o más cámaras estratégicamente con el fin de poder visualizar su imagen desde cualquier sitio con acceso remoto a internet; las imágenes pueden ser almacenadas en un procesador de alta capacidad y pueden ser vistas en tiempo real por cualquier persona que tenga acceso (Guzmán, R., Hernández, G., 2013). Esto permite: el control de la ejecución de la obra en cuanto a calidad, productividad y documentación gráfica (Abeid, J.; Allouche, E.; Arditi, D.; Hayman, M., 2003), lo que permite la adquisición de datos precisos y pruebas objetivas para tomar decisiones.

El presente trabajo describe la investigación de profundización en las herramientas de modelación 4D y Monitoreo IP, iniciando con el marco de referencia en el cuarto capítulo abordando los siguientes cinco aspectos: 1. Un recorrido por los principales hitos y características de la gestión de proyectos tradicional y actual; 2. Una descripción de la gestión de procesos constructivos en el sector de la construcción nacional, que incluye un contexto histórico, los desarrollos alcanzados tales como la cadena de valor del cluster de la construcción y las TICs en el sector; 3. Una descripción de la Realidad Virtual: generalidades de su desarrollo y como se relaciona con el sector de la construcción hasta llegar a BIM; 4. Un recorrido por BIM: generalidades de su desarrollo hasta la actualidad, la modelación 4D y las diferentes

dimensiones BIM, los principales software BIM con casos de proyectos reales en los que se han utilizado, una explicación de la gestión de proyectos con BIM y las ventajas de esto demostrada en casos reales; 5. Finalmente se aborda el Monitoreo IP en la que se presentan referentes internacionales y nacionales de sistemas utilizados para este fin.

Posteriormente en el quinto capítulo se presenta el marco práctico en el que se expone la contextualización y la metodología empleada para el desarrollo e implementación de la modelación 4D y el monitoreo IP en el Proyecto Cantagirone Tri Piu, de acuerdo con los objetivos específicos del proyecto. Además se presenta el análisis de resultados por medio de un informe ejecutivo, tal como se le presenta al equipo encargado del proyecto.

Finalmente en el sexto capítulo se presenta una propuesta de implementación de Modelación 4D y Monitoreo IP para futuros proyectos que estén interesados en dicha implantación, fundamentada en los principales hallazgos encontrados en el presente trabajo.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los profesionales involucrados en el sector de la construcción evidencian cada vez más la necesidad de mejorar el desempeño de los proyectos tratando de reducir el alto nivel de incertidumbre en los procesos que se desarrollan. Sin embargo es común en Colombia ver como se realizan proyectos con un alto nivel de improvisación, dejando muchas veces solucionar situaciones en los proyectos a personas con muy poco criterio o sesgadas por la premura de un avance de obra ya programado.

En proyectos cuya fase de planificación no tiene un alto grado de detalle, se identifica claramente durante la fase de ejecución de la obra cierta improvisación en la resolución de interferencias propias de diseños no depurados y una programación de obra basada en supuestos, que muchas veces no es posible cumplir. Esta improvisación y falta de rigor en la programación de la obra se traduce luego en situaciones mal resueltas (reparaciones y postventas), retrasos en la ejecución de las actividades, y productos con baja calidad, impactando directamente el presupuesto, la programación de obra y el funcionamiento final del inmueble.

Con la metodología actual, no se está logrando un desarrollo de proyectos óptimo desde el punto de vista de planificación y ejecución. El presente trabajo plantea la pregunta sobre las bondades para el desarrollo del proyecto de la utilización de tecnologías de información y comunicaciones, utilizando modelos BIM 3D y 4D el monitoreo del avance del proyecto en tiempo real mediante cámaras IP. La respuesta a esta pregunta luego de haber planteado el problema muestra el gran reto al que se enfrentan los constructores y consultores al tratar de lograr una sinergia adecuada entre la planificación, la ejecución y el cierre del proyecto en los términos de tiempo, costos y calidad óptimos, para lo cual se requieren metodologías complementarias a las que se aplican actualmente en el medio local.

2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la construcción juega un papel preponderante en las cifras económicas y de empleo dentro de la economía colombiana, por los estímulos del gobierno en créditos hipotecarios, subsidios de vivienda y en concesiones de infraestructura de todo tipo. Por lo tanto, el gran crecimiento del sector jalona el desarrollo de herramientas que permitan una adecuada gestión de proyectos a la altura de la complejidad de los mismos.

Dentro del ejercicio profesional de la empresa Estructuras & Sísmica S.A.S con cerca de 25 clientes a los cuales se les presta el servicio de consultoría, se han identificado diferentes aspectos comunes en el desarrollo de proyectos inmobiliarios que permiten observar un alto grado de improvisación en la fase de planificación, castigando el resultado de los proyectos y generando un producto muchas veces con especificaciones diferentes a las ofrecidas a los compradores.

Debido a este punto en común que se encontró en el nicho de clientes se identificó una oportunidad, en la cual se busca aprovechar las herramientas tecnológicas que ofrece el mercado mundial, como el modelado virtual de proyectos complementándolas con herramientas desarrolladas en la empresa para emprender un camino de implementación de modelos 4D contrastados con la realidad de un proyecto mediante el monitoreo remoto por medio de cámaras IP, planteando una metodología complementaria que logre suplir las falencias actuales identificadas en los proyectos en los que ha participado la empresa, para logra cerrar cada vez más esa brecha que se evidencia entre lo planeado y lo ejecutado.

Con el desarrollo de esta investigación se pretende demostrar en el medio local, que se cuenta con tecnología adecuada para mejorar los procesos improvisados a los que se someten los proyectos en muchas ocasiones y que esta tecnología beneficia enormemente a todos los actores del proyecto. Esto se demostrará probando en un proyecto local la metodología de implementación de tecnologías complementarias, con el fin de mostrar los beneficios encontrados en dicha implementación y de esta forma generar ganancias de todo tipo en el entorno. Para la academia probando teorías y tecnología sin referentes de ese tipo de aplicaciones; para la industria, demostrando los beneficios ya probados en un proyecto local, y para la empresa ofreciendo un servicio que nadie presta en nuestro país.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar en un proyecto piloto el modelado 4D y el monitoreo de productividad mediante cámaras IP, con el propósito de explorar los resultados de la aplicación de estas tecnologías en proyectos de vivienda, como ayudas en los procesos de la fase de planificación y ejecución de obra a través de la eliminación de interferencias entre especialidades y la implementación del software IDEO, documentando el proceso constructivo (rendimientos, calidad y personal), para presentar una propuesta de inclusión de estas prácticas y tecnologías en proyectos de construcción.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la modelación 3D del proyecto Cantagirone Tre Pui incluyendo los diseños arquitectónicos y estructurales.
- Realizar la modelación 4D del proyecto Cantagirone Tre Pui incluyendo los diseños estructurales.
- Hacer una evaluación de interferencias entre diseños y darle solución a cada una de ellas.
- Estructurar y poner en funcionamiento durante la fase constructiva del proyecto, el sistema de monitoreo de procesos constructivos mediante cámaras en tiempo real, IDEO.
- Documentar los resultados en un informe mediante el software IDEO y contrastarlo con el modelo 4D.
- Presentar una propuesta para inclusión de la metodología compuesta por estas prácticas en proyectos de construcción.

4 MARCO DE REFERENCIA

4.1 GESTIÓN DE PROYECTOS

“Un proyecto es temporal por lo cual tiene definido un tiempo de inicio y de cierre, y por lo tanto tiene un alcance y unos recursos definidos. Y un proyecto es único por lo que no es una operación rutinaria, sino un conjunto de operaciones diseñadas para lograr un único objetivo. De esta manera, la gestión de proyectos en la aplicación del conocimiento, habilidades, herramientas y técnicas para alcanzar los requerimientos del proyecto.” (Project Management Institute, 2015)

4.1.1. Contexto histórico

Actualmente en el orden empresarial se han generado cambios debido a las exigencias del mercado y los estándares internacionales, que han llevado a todos los sectores de la industria a tener mayores exigencias en cuanto a calidad, agilidad, estructura organizacional, entre otros aspectos. Como respuesta a esta necesidad ha surgido la gestión de proyectos, un término actual muy amplio, que se conoce como una metodología para gestionar las actividades empresariales. A nivel mundial son cada vez más las empresas que han incorporado a su estructura organizacional modelos y herramientas que le permiten mejorar sus procesos.

El sector de la construcción no es ajeno a esta tendencia, incluso se podría decir que ha sido quien ha jalonado a lo largo de la historia, el desarrollo y la innovación en estos modelos y herramientas. “Actualmente, muchas de las empresas del sector de la construcción se han concientizado de la necesidad de cambio en la metodología de gerencia de proyectos con cambios tecnológicos, mejoramiento, estrategia, construcción, investigación y desarrollo de software y productos.” (Fajardo, 2015)

Se podría decir que la gestión o gerencia de proyectos, sin carácter de disciplina, se ha practicado desde las primeras civilizaciones en las construcciones realizadas allí: pirámides, fortalezas, etc. Sin embargo se consideran la aparición de los primeros métodos a comienzos del siglo XX. (Montero, 2012)

La tabla a continuación muestra los principales hitos de la historia con relación al desarrollo de modelos y herramientas utilizadas para la gestión de proyectos.

Tabla 1. Principales hitos en la historia de la gestión de proyectos

Año	Nombre	Tipo	Autor
1917	Diagrama de Gantt	Herramienta	Henry Gantt
1956	American Association of Cost Engineers	Asociación	AACE International
1957	CPM (Critical Path Method)	Método	Dupont Corporation
1958	PERT (Program Evaluation Review Technique)	Técnica	Proyectos Especiales de la Armada norteamericana
1962	WBS (Work Breakdown Structure)	Técnica	Departamento de Defensa de Estados Unidos
1965	IPMA (International Project Management Association).	Organización profesional	IPMA
1969	PMI (Project Management Institute)	Organización profesional	Voluntarios
1975	PROMPTII	Método	Simpact Systems Limited
1975	"The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering"	Libro	Fred Brooks
1986	SCRUM1	metodología	Scrum Alliance
1987	Guía PMBOK®	libro blanco	PMI
1989	EVM (Earned Value Management)	programa	Subsecretaría de Defensa para Adquisiciones de Estados Unidos
1996	PRINCE (Projects in Controlled Environments)	metodología	Agencia Británica CCTA
1997	"La Cadena Crítica"	Libro	Eliyahu M. Goldratt
1998	PMBOK®	Estándar	American National Standards Institute (ANSI)
2006	"Marco para la Gestión Total de Costes"	Marco	AACE Internacional
2009	PRINCE2	metodología	Office of Government Commerce (OGC) del Reino Unido
2015	PMBOK®	Quinta y actual edición	PMI

Fuente. Adaptación de (Montero, 2012)

Estos desarrollos se relacionaron inicialmente con prácticas a nivel organizacional, que luego dieron origen a los métodos tradicionales gestión de proyectos que se describen a continuación:

Tabla 2. Métodos tradicionales de gestión de proyectos.

Método	Descripción	Principal aporte
Diagrama de Gantt	Diagrama de barras de las unidades mínimas de trabajo y los grupos de tareas así como la dependencia entre ellas: fin – comienzo, fin – fin, comienzo – fin, comienzo – comienzo.	Planificación
PERT	Método para describir, enlazar y analizar todas las tareas involucradas, con el fin identificar el tiempo mínimo necesario para completar el proyecto total en función de los recursos y el personal.	Revisión y evaluación
CPM (Critical Path Method)	Se enfoca en los recursos requeridos para la ejecución de las tareas del proyecto. Tiende a mantener el uso de los recursos nivelados, permite más flexibilidad en las horas de trabajo.	Ejecución

Fuente. Adaptado de (Aquino, 2014)

Los anteriores métodos con ayuda del avance tecnológico, dieron origen a softwares para la gestión y control de actividades, tiempo, recursos, materiales, entre otros. Entre estas se destacan las que se describen en la tabla a continuación.

Tabla 3. Herramientas informáticas para la gestión de proyectos.

Herramienta	Descripción	Principal aporte
Microsoft Project	Software utilizado para programar las actividades del proyecto en un horizonte de tiempo, permite asignar recursos y responsabilidades a cada una de las actividades; así como hacer un seguimiento al avance del proyecto y determinar la ruta crítica.	Programación
Primavera Project Planner	Fue desarrollada inicialmente para proyectos de ingeniería y construcción. Algunos la recomiendan como más potente pero más difícil de utilizar.	Gestión
OPX2 – NPD	Fue diseñado como un sistema integrado de gestión de proyectos, que cubre, entre otros aspectos: control de costos, gestión de portafolios, gestión de recursos, planificación de tiempos y trabajo colaborativo. Se conoce como una plataforma de trabajo para toda la empresa.	Integrado

Fuente. Adaptado de (Aquino, 2014)

Otro avance en la gestión de proyectos fue el desarrollo de herramientas dibujo como los software CAD (Computer Aided Design) que permitieron realizar los diseños a partir de modelos digitales, dejando de lado las formas manuales tradicionales para la realización de diseños y obtención de documentos gráficos del proyecto, facilitando la realización de estos procesos de manera digital y su gestión por medios magnéticos. (Duque, 2013)

Por su parte la evolución de las TIC (tecnologías de información y comunicación) y su integración a las herramientas existentes para el diseño y gestión de los proyectos han sido una gran contribución que se refleja en el ahorro de tiempo y costos, así como en la calidad del proyecto y el manejo de las relaciones, al facilitar la comunicación y conectividad de las partes involucradas en el proyecto, lo que genera mejor comunicación y eficiencia en el proyecto. (Duque, 2013)

Los desarrollos anteriormente mencionados evidencian la evolución de la gestión de proyectos aplicada a cualquier sector de la industria. Ahora bien, dentro de la evolución en gestión de proyectos de construcción, existe un nuevo hito: el sistema de gestión BIM (Building Information Modeling), el cual comprende metodologías, procesos y herramientas tecnológicas que permiten, de manera virtual, realizar la gestión completa del proyecto en todas sus fases. Los resultados y beneficios obtenidos en construcciones que han aplicado BIM han sido

significativos, y aunque es un sistema de gestión reciente, lo han hecho popular internacionalmente. (Duque, 2013)

Adicionalmente, complementario a BIM, se ha desarrollado en las últimas décadas un gran aporte a la gestión de proyectos: IPD (Integrated project delivery).

“Integrated Project Delivery o Entrega íntegra de proyectos, es una forma de enfocar el desarrollo y entrega de un proyecto en donde se integran personas, sistemas, estructuras y prácticas de negocios en un proceso de colaboración que aprovecha los talentos y puntos de vista de todos los participantes para optimizar los resultados del proyecto, aumentar el valor para el propietario, reducir los residuos y maximizar eficiencia a través de todas las fases de diseño, fabricación y construcción.” (The american institute of architects: AIA, 2007)

Finalmente se puede observar cómo la gestión de proyectos está en desarrollo constante e integral que de la mano del desarrollo tecnológico y de las ciencias afines busca servir de apoyo para la entrega de mejores resultados.

4.1.2. Características de la gestión de proyectos

De acuerdo con *Project Management Institute*, la gerencia de proyectos trata de la integración y aplicación de los grupos procesos y áreas de conocimiento de la gestión de proyectos. De esta manera, el gerente o director de proyectos es el responsable de la ejecución de estas actividades para lograr los objetivos del proyecto. (Project Management Institute, 2008)

El “PMBOK” reconoce 5 grupos de procesos básicos y 10 áreas de conocimiento comunes a casi todos los proyectos.

Tabla 4. Grupos básicos de procesos de gestión de proyectos

Grupo	Descripción
1. Inicio	Define y autoriza el proyecto o una fase del mismo
2. Planificación	Define, refina los objetivos y planifica el curso de acción requerido para lograr los objetivos y el alcance pretendido del proyecto.
3. Ejecución	Compuesto por aquellos procesos realizados para completar el trabajo definido en el plan a fin de cumplir con las especificaciones del mismo. Implica coordinar personas y recursos, así como integrar y realizar actividades del proyecto en conformidad con el plan para la dirección del proyecto.
4. Seguimiento y control	Mide, supervisa y regula el progreso y desempeño del proyecto, para identificar áreas en las que el plan requiera cambios.
5. Cierre	Formaliza la aceptación del producto, servicio o resultado, y termina ordenadamente el proyecto o una fase del mismo.

Fuente. Adaptado de (Project Management Institute, 2013)

Tabla 5. Áreas de conocimiento de gestión de proyectos.

Área de Gestión	Procesos y actividades que incluye
1. Integración del Proyecto	Para identificar, definir, combinar, unificar y coordinar los diversos procesos y actividades de la dirección de proyectos dentro de los grupos de procesos de dirección de proyectos.
2. Alcance del Proyecto	Para garantizar que el proyecto incluya todo (y únicamente todo) el trabajo requerido para completarla con éxito.
3. Tiempo del Proyecto	Para administrar la finalización del proyecto a tiempo
4. Costos del Proyecto	Para estimar, presupuestar y controlar los costos de modo que se complete el proyecto dentro del presupuesto aprobado.
5. Calidad del Proyecto	De la organización ejecutante que determinan responsabilidades, objetivos y políticas de calidad a fin de que el proyecto satisfaga las necesidades por la cuales fue emprendido.
6. Recursos Humanos del Proyecto	Incluye los procesos que organizan, gestionan y conducen el equipo del proyecto.
6. Comunicaciones del Proyecto	Para garantizar que la generación, la recopilación, la distribución, el almacenamiento, la recuperación y la disposición final de la información del proyecto sean adecuados, oportunos y entregada a quien corresponda.
7. Riesgos del Proyecto	Relacionados con llevar a cabo la planificación de la gestión, identificación, el análisis, la planificación de respuesta a los riesgos, así como su monitoreo y control en un proyecto.
8. Adquisiciones del Proyecto	De compra o adquisición de los productos, servicios o resultados que es necesario obtener fuera del equipo del proyecto.
9. Interesados del Proyecto	Para identificar a los interesados del proyecto o stakeholders, así como la planificación, gestión y control de sus expectativas sobre el proyecto.

Fuente. Adaptado de (Project Management Institute, 2013)

Un beneficio de la gerencia de proyectos es la posibilidad de conocer en todo momento el estado del proyecto debido al seguimiento permanente que se le realiza, para de esta manera poder corregir y resolver a tiempo los inconvenientes que se presenten.

Según (Fajardo, 2015), el director del proyecto es el encargado de asignar y controlar los recursos del proyecto en todas sus fases. Además señala que la gestión de proyectos se deberá realizar siempre un balance de La Triple Restricción: el alcance, el tiempo y el costo del proyecto. En éstas se agrupan las restricciones bajo las cuales generalmente los proyectos necesitan ser ejecutados y entregados. De esta manera el gerente del proyecto deberá realizar un balance entre estas variables: si el alcance aumenta, el costo y el tiempo aumentarían, si el costo disminuye, el tiempo aumentaría o el alcance disminuirá.



La restricción de tiempo trata de la cantidad de tiempo disponible para completar el proyecto, y se le puede asignar las unidades de tiempo en días calendario o en horas/hombre.

La restricción de costo hace referencia el presupuesto en dinero para el proyecto.

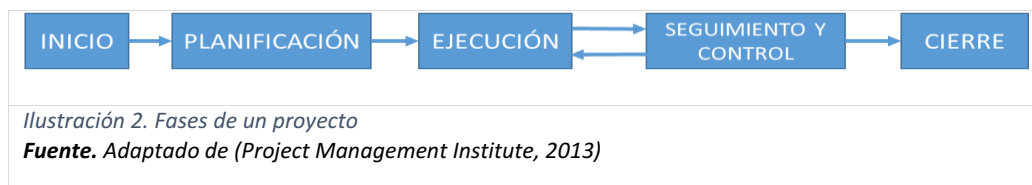
La restricción de alcance hace referencia a lo que se debe realizar para alcanzar el resultado final del proyecto, esta restricción por lo general no puede cambiar por lo cual puede alterar las demás restricciones de costo y tiempo.

El PMBOK define el alcance del proyecto como: “El trabajo que se debe realizar para entregar un producto, servicio, o resultado con las características y funciones especificadas”

De esta manera, se puede concluir que el equipo del proyecto debe contar con las herramientas y técnicas adecuadas para poder cumplir con los objetivos del proyecto dentro de las restricciones señaladas, (Fajardo, 2015) lo cual es responsabilidad de la gerencia de proyectos el conocimiento y asignación de estas.

GESTIÓN TRADICIONAL Y ACTUAL

Con base en el grupo básico de procesos señalado en el PMBOK se pueden identificar 5 fases del proyecto como se ilustra a continuación.



Estas fases son denominadas etapas tradicionales de un proyecto (Lledó, P., Rivarola, G., Mercau, R., & Cucchi, D, 2006), quienes señalan que entre los errores más frecuentes que se presentan en la gestión tradicional es entre las etapas de planificación y ejecución, cuando se ordenan las fases de manera lineal y no de forma superpuesta, teniendo como consecuencia sobrecostos y retrasos durante la ejecución.

Por esta razón la quinta edición de la GUIA PMBOK (Project Management Institute, 2013) indica que dichos procesos, fases o etapas se traslapan e interactúan a través de un proyecto o fase y son descritos en términos de:

- Entradas (documentos, planes, diseños, etc.)
- Herramientas y Técnicas (mecanismos aplicados a las entradas)
- Salidas (documentos, productos, etc.)

La gestión de proyectos actual presenta una serie de características o desafíos con el fin de adaptar estándares internacionales a los propios y únicos de cada proyecto. A continuación se mencionan algunos:

Tabla 6. Características de la gestión actual

Área	Descripción
Objetivos y metas	El proyecto debe ser viable, sustentable y medible. Con objetivos y metas claros. Se debe asignar recursos y talento humano con un buen clima laboral y contractual.
Cronograma de actividades	Debe tener un cronograma detallado de las actividades en función del tiempo y del costo, dependiendo del alcance.
Complejidad manejable	Hacer de lo complejo algo sencillo, inter relacionado con visión de totalidad los múltiples elementos o componentes y las interacciones entre ellos.
Administrar los recursos	Se especifica y gestiona el talento humano, el conocimiento y las competencias de quienes formaran parte del equipo.
Organización empresarial	Se define que estructura empresarial debe tener la compañía según el tipo de proyecto, se asignan responsabilidades y recursos. También se fijan las metas y de nombra un gerente, patrocinador, ejecutor o como lo desee denominar la organización, este será el líder del proyecto.
Sistema de comunicación y control	Es la manera en que se va a registrar la información y la difusión de documentos dentro del proyecto. Esta debe ser precisa y concreta. Sirve para el monitoreo

Fuente. Adaptado de (Lledó, P., Rivarola, G., Mercáu, R., & Cucchi, D, 2006)

4.2 GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA

4.2.1 Contexto histórico

Colombia no es ajena a los cambios que se vienen dando en el orden internacional en cuanto a gestión de proyectos. Por lo contrario por parte del sector público, privado y de la academia se identifican cada vez más esfuerzos por integrar y estar al día con las tendencias mundiales.

Tal como se indica en el Libro “Gerencia de proyectos de construcción inmobiliaria”, (Bautista, 2007) la adaptación de estándares internacionales a un medio local permite identificar dificultades y problemas. En el medio uno de los inconvenientes más delicados que enfrenta la gestión de proyectos en Colombia radica en la fase de Planeación, lo cual es grave considerando que los mayores esfuerzos en la realización se deben centrar en la trilogía: planear, dirigir y controlar.

En las últimas décadas ingenieros, arquitectos y profesionales del sector de la construcción en general han sido más conscientes de la necesidad de cambio y mejora en dichos procesos.

Por esta razón para 1989 surgió el decreto 2090 en el que se aprobó el Reglamento de tarifas para los trabajos de arquitectura. De esta manera se definió el área de la Gerencia de proyectos para Colombia relacionada con la construcción: “la gestión de dirección, administración y control de los intereses de una persona o grupo de personas para la iniciación y el desarrollo de un proyecto inmobiliario” (Alcaldía de Bogotá, 1989). Lo anterior se dio como respuesta a las necesidades particulares de proyectos de construcción.

Pronto se vio la necesidad de modificar este decreto dándole más énfasis al cumplimiento de las actividades en las etapas de diseño, construcción y ventas, con el fin de mejorar los proyectos haciéndolos factibles y rentables tanto para la empresa constructora como para el cliente final. De esta manera para finales de la década de los noventa, la gerencia de proyectos en Colombia se transformó en lo que hoy se conoce como Gestión de proyectos.

Más adelante, debido a la crisis de la construcción en los años 1997 y 1998, se presentó un retroceso en el progreso de la gestión de proyectos, ya que esta situación afectó tanto a las partes relacionadas: clientes, entidades financieras y al Estado Colombiano, llegando al punto de niveles de inactividad nunca antes vistos.

Actualmente, frente a la amplia gama de metodologías, técnicas y herramientas que se ofrecen a nivel mundial sobre la gestión de proyectos, se observan limitantes en las empresas constructoras en Colombia, relacionadas con aspectos tales como: altos niveles de improvisación, estructura organizacional inamovible, personal inadecuado, procesos y procedimientos que generan desconfianza sobre el producto o servicio que se produce.

Finalmente Bautista señala que solo las empresas que se adaptaron o están en proceso de adaptarse a los cambios de la Gestión de proyectos, alcanzaron ventajas competitivas que les permiten el dominio del sector, en contraste con las medianas y pequeñas empresas las cuales por falta de recursos se ven desequilibradas en un mercado tan dinámico y competitivo. (Bautista, 2007)

Con base en lo anterior se asume la gestión de la construcción como el área de la gerencia de proyectos en Colombia que se ocupa de los proyectos de construcción.

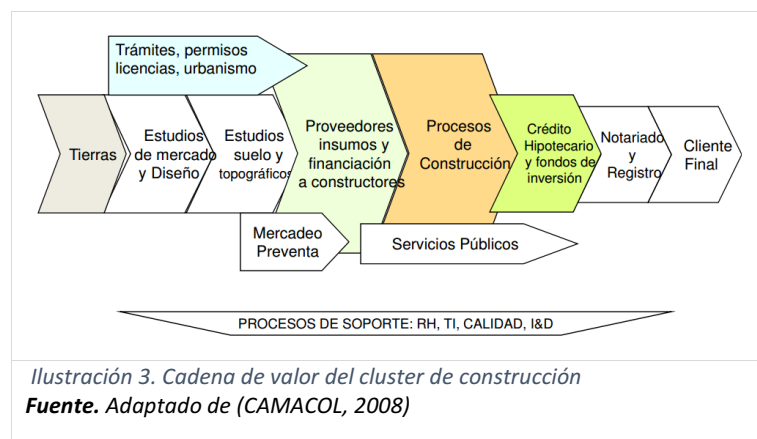
4.2.2 Sector de la construcción en Colombia

En Colombia, el sector de la construcción emplea directamente el 7% del total de la fuerza laboral ocupada, es decir 1'491.316 personas en el territorio nacional. Así mismo, en las estadísticas de enero de 2015 el DANE presentó que uno de cada cuatro empleos fue generado por el sector de la construcción. Además presentó una variación anual de 9% en el número de ocupados en el sector con 125.000 nuevos empleos. También se destaca un aumento del 11% en la ocupación de actividades inmobiliarias y de alquiler, con 160.000 nuevas plazas. (CAMACOL, 2015).

La presidente de la cámara colombiana de la construcción que en adelante se mencionara como CAMACOL, Sandra Forero Ramírez, señaló: “la participación del sector en la generación de empleo refleja la importancia de mantener el dinamismo de la actividad edificadora del país, más en momentos en los que se debe fortalecer el consumo interno. Esto debe ser una señal para que las autoridades locales dirijan acciones que permitan fortalecer la oferta de proyectos de edificaciones e impacten el desempleo, particularmente bajo una coyuntura en la cual se adelantan revisiones a los Planes de Ordenamiento Territorial en buena parte de las ciudades del país”

CAMACOL fue creada en Medellín en 1957 por parte de un grupo de industriales y empresarios reunidos en la primera Convención Nacional de Constructores. Desde entonces ha trabajado por defender los intereses del gremio de la construcción, articular la cadena de valor del sector e impulsar su desarrollo competitivo. (CAMACOL, 2011)

En el Consejo Privado de Competitividad de 2008, fue presentada la cadena de valor del cluster de la construcción, como se muestra a continuación:



“La cadena de valor es la relación secuencial y lógica entre insumos, actividades, productos y resultados en la que se añade valor a lo largo del proceso de transformación total.

Construir y estandarizar adecuadamente la cadena de valor de las iniciativas de inversión tiene como finalidad mejorar la calidad de la información de los proyectos que planean y ejecutan las entidades, facilitando su formulación y la decisión de asignación de recursos entre ellos, tanto por parte de la entidad responsable como por parte de aquella que viabiliza la iniciativa”. (Departamento Nacional de Planeación, 2014)

El ejercicio de la construcción de la cadena de valor tiene múltiples ventajas entre las cuales se resaltan:

- Identificar los productos y actividades de los proyectos.
- Hacer seguimiento a la gestión de los programas y proyectos a través de información más detallada de sus productos y actividades.
- Ofrecer información organizada para la rendición de cuentas de los proyectos.

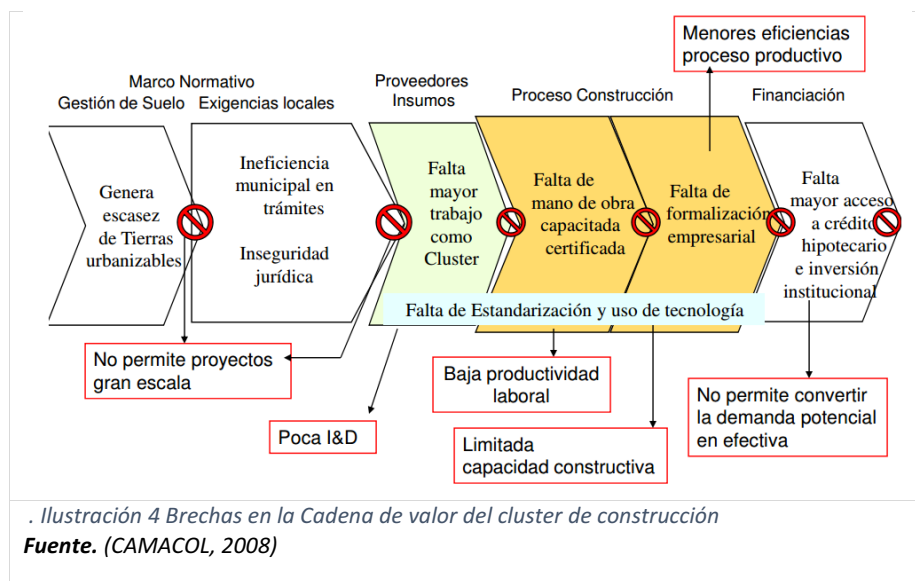
En el caso del sector de la construcción en Colombia, es complejo definir una política o metodología clara para la gestión de proyectos, entre otros factores por el pensamiento colectivo del sector y la informalidad en general. Por esta razón, al adoptar la metodología de la cadena de valor para el sector no se sustituye la metodología de formulación de proyectos, sino que se presenta más bien como una parte integral de una adecuada formulación.

De esta manera, al realizar el ejercicio de construir la cadena de valor para el sector de la construcción, se encontraron algunas brechas que se presentan a continuación:

1. Gestión del suelo: Escasez de suelo urbanizable en los grandes centros urbanos y ausencia de coordinación entre planes maestros de servicios públicos y POTs.
2. Marco regulatorio: Procesos lentos y costosos a nivel local y desarticulación institucional a nivel nacional.
3. Estandarización: materiales, procesos y proveedores de insumos.
4. Recursos humanos: Escasa mano de obra tecnificada, alta informalidad, personal con capacidad técnica pero poca gestión administrativa.
5. Aspectos empresariales: alta competencia en mercado de construcción de edificaciones, poca formalización empresarial, falta de segmentación y especialización, necesidad de

planeación a largo plazo. existe poca utilización de recursos tecnológicos en el proceso constructivo.

6. Acceso al crédito hipotecario e inversión institucional: Bajo nivel de acceso a crédito hipotecario, demanda muy sensible al nivel de las tasas de interés y no hay inversión institucional en bienes inmuebles.



Estas brechas representan retos para la gestión de proyectos, los cuales podrían ser mitigados por medio de la implementación de nuevas técnicas y herramientas que generen impacto en el sector.

Por otro lado el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, en el boletín técnico el primer trimestre de 2015 presentó los indicadores económicos alrededor del sector de la construcción, con relación al mismo trimestre de 2014. Se resaltan los siguientes:

1. Indicadores Macroeconómicos:

- PIB: La economía colombiana creció 2,8% con relación al mismo trimestre de 2014. Para el mismo período de referencia el valor agregado de la construcción aumentó 4,9%. Este resultado se explica por el aumento de 7,0% en el subsector de obras civiles y de 2,1% en el subsector de edificaciones. (Ver Ilustración)
- Empleo: por rama de actividad la construcción participó con el 6,5% de los ocupados. La población ocupada en el total nacional creció 3,2%, asimismo en la rama de construcción los ocupados incrementaron 10,3%, 1,4 millones de personas estaban ocupados en la rama de la construcción. (Ver Ilustración)

2. Indicadores de demanda:

- La cartera hipotecaria de vivienda presentó un incremento de 12,3% en el saldo de capital total.

3. Los pagos efectuados para la construcción de obras civiles, Índice de Inversión de Obras Civiles (IIOC) presentaron un incremento de 6,9%.

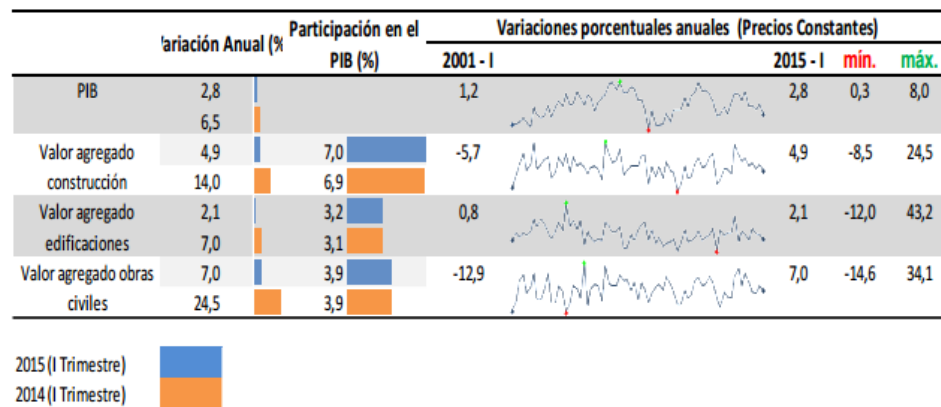


Ilustración 5. PIB total, Valor Agregado Construcción y subsectores ITrim2015

Fuente. (DANE, 2015)

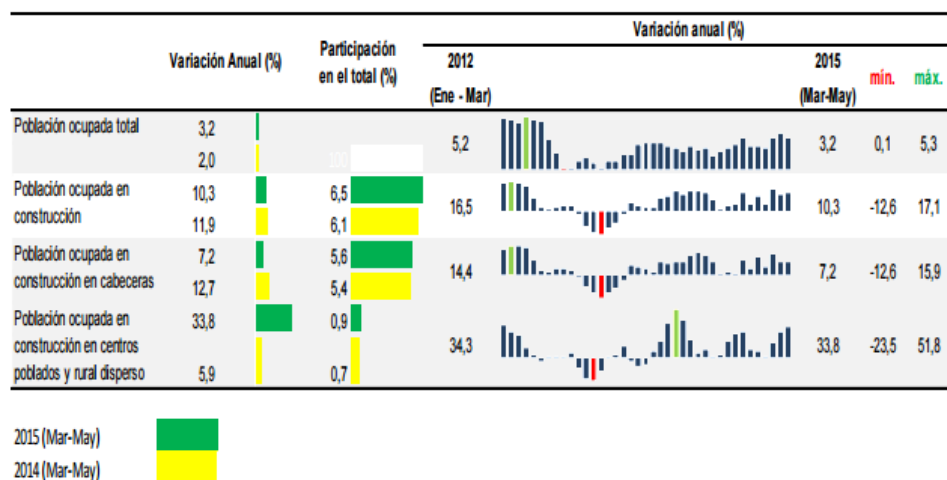


Ilustración 6 Población ocupada total nacional y en la rama de actividad construcción.

Fuente. (DANE, 2015)

De acuerdo con estos datos se confirma lo señalado por CAMACOL: “La actividad edificadora tiene un impacto directo y significativo sobre el crecimiento de las economías, la inversión y el empleo. A esto se le suma su capacidad de arrastre sobre otros sectores productivos” (CAMACOL, 2009)

4.2.3 TIC en la construcción

“Internet y las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones - TIC están generando profundos cambios en la forma en que individuos, comunidades, empresas, gobiernos y todo tipo de organizaciones se relacionan entre sí y con el mundo” (Corporación Colombia Digital, 2012)

En la actualidad se presenta una escala y velocidad de difusión de uso de las TIC sin antecedentes en la historia de la humanidad. La tercera parte del planeta cuenta con acceso a Internet. Para febrero de 2012 había seis mil millones de suscripciones móviles donde una quinta parte cuenta con acceso a Internet. La gestión de la información es causante de profundos cambio que impactan la sociedad y la economía: empresa, gobierno, educación, salud, entre otros. La gestión de la información se entiende como la articulación de varios factores que la componen como: producción de información, transmisión, registro, almacenamiento, modificación y presentación. (Corporación Colombia Digital, 2012)

El grado de apropiación de las TIC es un elemento imprescindible en el camino hacia la creación de riqueza basada en el conocimiento. De ahí que la inversión, pública y privada, en todos los elemento que conforman las TIC, sea primordial en para el sector público, académico y productivo. Para esto es importante que la infraestructura, que es la base de la conectividad, aplicaciones, usuarios y servicios converjan para permitir que diversos procesos sociales y económicos creen ventajas competitivas basadas en el conocimiento. Dicha apropiación de las Tic es aplicable en diversos sectores: salud, empresas, gobierno, justicia, entre otros. (Orduz, 2012)

Según Palacio (2013), la ingeniería ha sido considerada como una de las actividades pilares del desarrollo de las sociedades modernas, teniendo como razón de ser la aplicación de conocimiento y el desarrollo de técnicas y tecnologías para mejorar las condiciones de vida de la sociedad. Además señala la era digital actual como la “Sociedad del conocimiento”, en la que el uso de la tecnologías y capacitación en estas son camino seguro al crecimiento económico y de competitividad. (Palacio, 2013)

En el ámbito nacional, la ingeniería civil ha ido adoptando progresivamente las TIC. Iniciando en la academia con la formación de futuros profesionales con nuevas capacidades para el manejo de éstas. Algunas las tecnologías con buen potencial para la enseñanza de la ingeniería civil son: la realidad virtual y el método de trabajo BIM (Building Information Modeling). (Botero, 2013)

4.3 REALIDAD VIRTUAL

4.3.1 Generalidades

“La realidad virtual puede definirse como el medio que proporciona una visualización participativa en tres dimensiones y la simulación de mundos virtuales en tiempo real. Se trata de un entorno generado por ordenador en el que los participantes pueden entrar físicamente e interactuar en él desplazándose por su interior o modificándolo.” (Ortigueira,C.; Reigosa, M.; Rodríguez, M.; Santamaría C.; y Veiga, J. , 2012)

Estos autores indican que el objetivo último de la realidad virtual es crear, almacenar y simular un mundo alternativo, modelar objetos en él, definir relaciones entre ellos y la forma en la que interaccionan, para que el usuario pueda más tarde percibirlo.

La mayoría de los autores coinciden que la realidad virtual puede ser de dos clases: la realidad virtual inmersiva y la realidad virtual no inmersiva; la inmersiva se basa en la simulación de un ambiente tridimensional en cual el usuario percibe a través de estímulos sensoriales. La no inmersiva opta por la visualización de los elementos virtuales por una pantalla, dando opción de interaccionar con otras personas a través de Internet.

Otras características de la realidad virtual son: Presencia, el usuario debe encontrarse dentro del entorno virtual; Punto de observación o referencia, Permite determinar la ubicación y posición de observación del usuario dentro del mundo virtual; Navegación, el usuario puede cambiar su punto de observación; Manipulación, el usuario puede interactuar y transformar el medio ambiente virtual. (Ortigueira,C.; Reigosa, M.; Rodríguez, M.; Santamaría C.; y Veiga, J. , 2012)

Por otro lado, existe una tecnología que va de la mano de la realidad virtual: la realidad aumentada, la cual consiste en un entorno digital que permite mezclar imágenes reales con imágenes virtuales, sobreponiendo imágenes virtuales sobre la realidad que vemos a través de la pantalla. Sus aplicaciones son infinitas y abre una nueva dimensión en la manera que el usuario interactúa con lo que lo rodea. (GITS Informática , 2013)

La realidad virtual y la realidad aumentada, son nuevas herramientas tecnológicas con gran potencial, que quizás serán indispensables en el futuro. Su campo de aplicación es muy amplio en la ciencia en general y su constante evolución hace que estas sean ilimitadas en sus aplicaciones. (Dos Santos, 2007)

4.3.2 Aplicaciones

Entre las aplicaciones que se le ha dado a la realidad virtual en la industria se destaca los realizados en el ejército y fuerzas de seguridad, medicina, arquitectura, educación, entretenimiento, entre otros. En particular dentro de la arquitectura se aplica para la arquitectura virtual para generar espacios que sólo se pueden visitar digitalmente; patrimonio arquitectónico, para el rescate y recuperación de edificaciones desaparecidas, y diseño virtual, además de los planos y maquetas, para realizar modelos tridimensionales interactivos donde diseñadores y clientes pueden tener una idea más clara de las edificaciones. (Ortigueira,C.; Reigosa, M.; Rodríguez, M.; Santamaría C.; y Veiga, J. , 2012)

La realidad virtual ha permitido que diferentes sectores de la industria realicen diseños virtuales y pruebas de sus productos antes de fabricarlos, teniendo mejores resultados gracia a las pruebas que les permiten ahorrar tiempo y dinero. El mercado de la realidad virtual representaba para la industria, en el 2007, 1.5000 millones de dólares con un crecimiento anual entre el 10% al 12%. (Morales, 2007)

En el sector de la construcción la realidad virtual es usada para el desarrollo de modelos virtuales de proyectos de arquitectura, edificios e ingeniería. Dichos modelos permiten verificar diseños, procesos y coordinar su ejecución con mayor precisión. (Botero, 2013)

La industria de la arquitectura, la construcción y la ingeniería están en constante desarrollo de nuevos procedimientos y formas de trabajo que les permitan aumentar la productividad y la calidad, reducir tiempos y ahorrar costos. Este sector ha encontrado una solución de realidad virtual no inmersiva conocida como BIM. (Duque, 2013)

4.4 BIM

4.4.1 Generalidades

"BIM es un proceso basado en el modelo inteligente que proporciona una visión para ayudar a planificar, diseñar, construir y gestionar proyectos de edificios e infraestructuras" (Autodesk, 2015)

La compañía Autodesk que desarrolla softwares de Diseño 2D y 3D, define BIM (Building Information Modeling), o Modelado de información para la construcción, como un proceso que implica la creación y el uso de un modelo 3D inteligente para comunicar e informar las decisiones del proyecto, que permite el diseño, visualización, simulación y colaboración con mayor claridad para las partes interesadas en todo el ciclo de vida del proyecto, lo que hace que sean más fácil de alcanzar las metas del proyecto. (Duque, 2013)

BIM es comúnmente conocida como una herramienta para la visualización y la coordinación del trabajo AECO (arquitectura, ingeniería y construcción), que ayuda a mejorar los errores y omisiones, mejorando la productividad y facilitando la programación, la administración de la seguridad, el costo y la calidad en proyectos de construcción. Esto incorpora todos los componentes de la construcción, incluyendo geometría, proporciones espaciales y cantidades de obra. BIM también puede generar y almacenar información producida durante todo el proceso de vida del proyecto, desde el diseño hasta el mantenimiento. Las investigaciones señalan los beneficios de BIM en la programación de obra, en la estimación y gestión de cambios, y en el manejo de la logística en el sitio. Otro beneficio es que mejora la toma de decisiones por parte los involucrados en el proyecto, ya que gracias a esto es posible una comunicación abierta, la posibilidad del intercambio de datos y la verificación de los requerimientos de diseño, además el desempeño del proyecto también puede ser analizado. Diferentes investigadores coinciden que BIM es útil para mejorar la calidad de los proyectos y que cada vez más proyectos están tendiendo a utilizar BIM en el futuro para pasar información de la fase de Diseño a la de construcción. (Chen L., 2014)

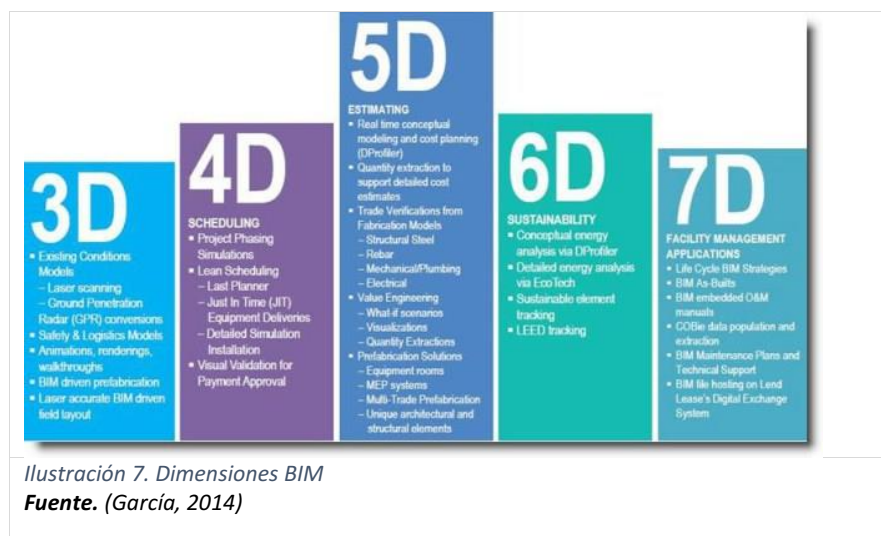
Las diferentes definiciones van encaminadas a describir BIM como una metodología de trabajo basada en el modelo paramétrico, con el uso de programas computacionales que proporcionan

tanto elementos gráficos, como el modelo, permite obtener información técnica de los mismos y realizar control de los procesos, antes del inicio de la ejecución del proyecto. (Botero, 2013)

4.4.2 Modelado 4D y Dimensiones BIM

“Para usar tecnologías BIM se debe partir de un programa de modelado 3D, pero no todos los programas de modelado 3D son una herramienta BIM” (Alarcón Lopez, Martinez Cava, & Martínez Gómez, 2013)

Es importante aclarar que para usar tecnologías BIM se debe partir de un programa de modelado 3D. A partir de esto y según la información que se integre o asocie al modelo 3D, numerosos autores coinciden en describir los diferentes modelos BIM que se conocen como modelo 4D, 5D, 6D, etc.



Cuando se realiza la gestión de proyectos implementando tecnologías BIM (como se describirá más adelante) es posible realizar la programación de un proyecto y asociarlo a un modelo 3D, esta asociación se conoce como gestión o modelo 4D. Así mismo, cuando al modelo 4D se le asocia un control de costos se le conoce como gestión o modelo 5D (Duque, 2013).

Según (Trebbe M., Hartmann T., Dorée A., 2014) muchos investigadores reconocen el potencial de los modelos 4D en la gestión de proyectos. Para esto los softwares de tecnología 4D CAD usan

representaciones 3D de las condiciones de construcción de un sitio, representaciones 3D de la propuesta de diseño que transforma las condiciones existentes, y la programación de construcción.

De acuerdo con lo anterior, 4D referido a esta tecnología representa 4 dimensiones determinadas por las tres dimensiones espaciales y una cuarta dimensión que la constituye el tiempo. Permite ver cómo se reproducirá la secuencia constructiva, que no es más que vincular los diferentes diseños del proyecto a su programa de obra y así poder determinar de forma visual, analizándola junto a los principales participantes del proyecto. En caso de existir algún problema con el programa de obra o con alguno de los diseños, para así poder solucionar los conflictos entre diseños y programa antes del inicio de la construcción.

4.4.3 Gestión de proyectos con BIM

Varios autores coinciden en que la metodología BIM puede ser utilizada para la gestión de un proyecto en todo su ciclo de vida. Esta implementación presenta una serie de ventajas y características que se describen a continuación según Duque (2013) y (Sarosh, H. L., Syed, M. A., Rizwan, U. F., & Muhammad, S., 2008)

- 1. Visualización 3D:** permite visualizar el proyecto en un modelo 3d, lo que facilita la comprensión de las fases del proyecto y detectar posibles fallos más fácilmente. Es importante aclarar que BIM no se limita sólo un modelizado en tres dimensiones. (Alarcón, I. J., Martinez, J., & Martínez, D. C. , 2013)
- 2. Realización de documentos gráficos:** permite la realización de planos de taller o de fabricación, así como la obtención de documentación técnica como: despieces de estructura, detalles constructivos de fabricación, cuadros de mediciones, entre otros.
- 3. Comprobación del cumplimiento de la normativa:** permite integrar las normativas de construcción al software de trabajo BIM. De este modo, al realizar el diseño el programa puede avisar del incumplimiento de la normativa.
- 4. Análisis forense:** Algunos softwares permiten detectar donde se ha podido presentar un fallo estructural u accidente, y la causa de la aparición de lesiones. Tal es el caso del sistema Building Automation Systems (BAS), el cual permite en caso de emergencia, el cual proporciona información en tiempo real con ayuda de sensores, lo cual permite generar una respuesta más segura en caso de emergencia. (Autodesk, 2013)

- 5. Facility management (FM):** es una forma de gestionar el ciclo de vida de un edificio y sus servicios asociados, utilizando diferentes procesos y metodologías, integrando recursos, procesos y tecnologías. (International Facility Management Association (IFMA), 2011)
- BIM beneficia el empleo de Facility Management debido a su capacidad de incorporar información y estandarizar el modelado y su nomenclatura. Con BIM, es posible gestionar diferentes áreas del Facility Management como la gestión de espacios, gestión de activos (control de bienes y activos físicos), planificación del mantenimiento del edificio, análisis del funcionamiento del edificio, futuras reformas o ampliaciones, gestión de alquileres, etc. (García, D. I., & Marín, J. I., 2014)
- 6. Programación (4D) y costos (5D):** permite realizar la programación de un proyecto y asociarlo a un modelo 3D (según lo expuesto en el numeral 4.4.1). Algunos softwares permiten la asociación tablas de planificación de costes y presupuestos de manera casi automatizada mediante de la asignación de materiales al modelo. De esta manera, el programa puede multiplicar el valor de las mediciones por el costo del material y así obtener un presupuesto de forma precisa. (Gorosito, 2014)
- 7. Detección de conflictos y fallos de proyecto:** permite detectar interferencias e incompatibilidades entre los diferentes diseños que se integran en el modelo general del proyecto, antes de la ejecución del mismo, lo que se refleja en un ahorro de tiempo, costos y ayuda a mejorar la calidad de lo fabricado.
- 8. Programación y secuencias constructivas:** permite relacionar el modelo 3D con la programación estimada de las fases del proyecto, determinar los procesos constructivos y su duración según los recursos empleados. (Popov, V., Juocevicius, V., Migilinskas, D., Ustinovichius, L., & Mikalauskas, S., 2009)

4.4.4 Softwares BIM

Actualmente el desarrollo de tecnologías BIM ofrece un sinnúmero de posibilidades para la elaboración de modelos, partiendo de los más básicos 3D, hasta los más complejos 8D, dentro de los cuales hay un gran portafolio de beneficios que cada casa de software ofrece a sus clientes, a continuación se describen los software para 3D y 4D con un nivel de implementación más alto en Europa y Estados Unidos con el fin de ilustrar que otras posibilidades de software que puede servir para la metodología planteada en esta investigación.

ALLPLAN 2016 BIM

Es un sistema BIM/CAD desarrollado por la compañía NEMETSCHEK. Con el motor en modelado 3D Parasolid de Siemens, el navegador de objetos para una visión del modelo del edificio y muchas otras funciones. ALLPLAN 2016 es la herramienta de colaboración interdisciplinar para los proyectos. Ofrece beneficios como: soporte para proyectos BIM, modelado 3D con flexibilidad y precisión, y flujo de trabajo eficiente e intuitivo. Este sistema ofrece cuatro soluciones según la necesidad del usuario (ALLPLAN, 2015):

1. Allplan Engineering: BIM/CAD para ingeniería de estructuras, permite realizar el diseño y dibujo de hormigón armado. (Ver Ilustración)
2. Allplan Architecture: BIM/CAD para proyectos de arquitectura, que incluye todas las fases de desarrollo de edificios: diseño, construcción y uso.
3. CINEMA 4D: para modelado, render y animación de edificaciones, con alta calidad.
4. Allplan BCM: sistema dentro de un proceso BIM con el que las constructoras pueden integrar mediciones, presupuestos y control de ejecución de obra.

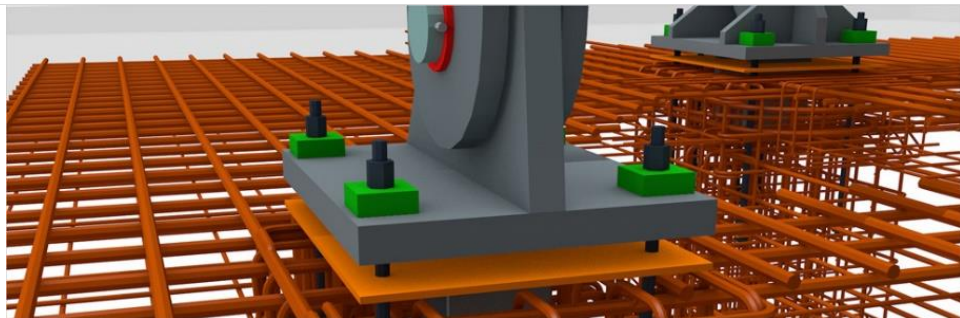


Ilustración 8. Proyecto desarrollado con ALLPLAN. Aeropuerto de Erihegy Budapest, Hungría.

Fuente. (ALLPLAN, 2015)

REVIT

Revit® es un software de construcción y diseño de edificios que fue desarrollado por la compañía Autodesk® específicamente para la tecnología BIM, por lo que incluye funciones tales como: diseño arquitectónico, de construcción, de ingeniería estructural y la coordinación entre disciplinas. (Autodesk Revit, 2015). Este software ofrece dos productos:

1. Building Design Suite: ofrece el potencial de BIM con herramientas para diseño y documentación, visualización, simulación y colaboración entre el equipo del proyecto, según la necesidad del mismo BIM o CAD.

2. Revit LT: admite flujos de trabajo de diseño 3D y documentación para visualizar y comunicar el proyecto con entregas en formato BIM. A continuación se ilustra ejemplo de visualización de un caso real realizado con Revit.



Ilustración 9. Caso real con REVIT: Torre central de Shanghai Fuente. (Autodesk Revit, 2015)

La Ilustración anterior es un ejemplo del uso de soluciones BIM: La torre central de Shanghai, llamada a ser la segunda torre más alta del mundo.

NAVISWORKS

La familia del software Autodesk® NavisWorks® permite una visión integral de proyectos para los profesionales de AECO para: la coordinación 3D, planeación 4D, visualización foto realística, simulación dinámica, y análisis preciso combinando el análisis de información de edificios con la geometría y datos de otras herramientas de diseño. (Autodesk Navisworks, 2015). Esta familia ofrece dos productos:

1. Navisworks Manage: para mejores resultados de control en la administración de proyectos, análisis 5D y cuenta con herramientas de simulación.
2. Navisworks Simulate: permite revisar y comunicar detalles del proyecto a través del análisis 5D y simulación.

En la ilustración a continuación se presenta un caso de estudio de una empresa de Ingeniería en Escocia que utilizó Autodesk BIM para completar el proyecto AECOM de la destilería de Whisky más grande del país y ganó un premio por diseño sostenible.



Ilustración 10. Caso de estudio proyecto AECOM con Navisworks
Fuente. (Autodesk Navisworks, 2015)

VICO

La compañía Vico Software, Inc. desarrolló el software 5D BIM VICO (Virtual Construction™) para la industria de la construcción. Los diferentes involucrados en proyectos de construcción han utilizado este software para reducir el riesgo, gestionar presupuestos, y optimizar la programación de proyectos de construcción complejos. Esta solución 5D como una aproximación integrada para la coordinación, cantidades de obra, estimación de costos, programación de proyectos y control de producción (Vico Software, Inc., 2015).

A continuación se ilustra un complejo de 8 edificios desarrollado con VICO software en Varma Salmisaari, Finland.



Ilustración 11. Caso real con VICO en Finlandia.
Fuente. (Vico Software, Inc., 2015)

TEKLA BIMSIGHT

Tekla BIMSight es

un software de la

compañía TEKLA para todo el flujo de trabajo de la industria de la construcción en el que se

pueden combinar los diferentes modelos, identificar interferencias y compartir la información utilizando el mismo entorno de trabajo BIM. Este software permite a los involucrados en el proyecto identificar y solucionar las diferentes situaciones que se presentan incluso desde la fase de diseño antes de la construcción (Tekla BIMsight, 2015). Algo que ayuda la participación de las diferentes partes es poder utilizar la herramienta desde diferentes dispositivos tecnológicos, tal como se ilustra a continuación.



Ilustración 12. Aplicación de Tekla BIMsight en dispositivos tecnológicos.

Fuente. (Tekla BIMsight, 2015)

4.4.5 Ventajas de BIM en proyectos reales

Las ventajas y aplicaciones de la tecnología BIM y en general de las Tecnologías de Información se han venido investigando y desarrollando desde hace varios años en universidades de gran prestigio a nivel mundial, como son las Universidad de Stanford y Berkeley, a partir del estudio de casos reales en los que se ha implementado dichas tecnologías, en los cuales se ha logrado demostrar los beneficios y ventajas de éstas, frente a la gestión tradicional de proyectos.

“El beneficio más importante del BIM, es la representación geométrica de las partes de un edificio en un entorno de datos integral.” (Azhar, S., Hein, M., & Sketo, B, 2007)

A continuación se presentan la principales ventajas y beneficios, de acuerdo con los expuesto por Duque (2013) y Azhar et al (2007). Y algunos casos de éxito de implantación de tecnologías BIM.

1. **Efectividad y rapidez en los procesos:** BIM permite compartir la información de manera ágil, además permite que los involucrados en el proyecto y especialistas aporten sus conocimientos y esto sea de conocimiento de todo el equipo, lo que le añade gran valor al proyecto.

En un proyecto en el Canal de Panamá, se presentó un ahorro de tiempo en una de las tareas de aproximadamente el 60%, debido cambios en algunos componentes del proyecto que fueron posible realizarlos por la implementación de BIM. (Real M, 2014)

2. **Mejores diseños:** BIM permite analizar rigurosamente las propuestas de construcción, realizar simulaciones, lo cual permite llegar a mejores e innovadores diseños. De esta manera permite mayor flexibilidad al establecer diferentes alternativas para los clientes en cuanto a volumetría y variación de espacios. (Reyes, A. M., Candelario, A., Méndez, F., Cortés, J. P., & Prieto, A. P.)

Walt Disney Concert Hall Project

Proyecto de \$175 millones, elaborado por la compañía FOGA en el año 2001, contratista M.A. Mortenson en Los Ángeles, EEUU. Con un diseño complejo y un espacio muy reducido, la aplicación del 4D fue fundamental para la detección de falta de información y nivel de detalle geométrico necesario para el tipo de proyecto a realizarse, y muy importante en el desarrollo de la comunicación de la programación a las diversas especialidades. (Radiustrack, 2010)

3. **Mejor Control de costes (5D) y programación del proyecto (4D):** esto permite estimar más fácilmente el rendimiento de un proyecto, así como controlar los costos de las diferentes fases del proyecto.

Las empresas están empezando a darse cuenta de las ventajas competitivas de la gestión 5D, la cual ha ganado impulso y liderazgo y es conocida como “la nueva era” en la gestión de costos del proyecto. (Smith, 2014)

Disney's California Adventure- Paradise Pier

Paradise Pier es uno de los tres componentes “terrestres” de Disney. Comprendió la realización de diecinueve centros de atracción turística, distribuidas en 20 acres ubicadas alrededor del perímetro de una laguna de 6 acres. El modelo 4d colaboró en la estrategia a utilizarse en la secuencia constructiva de un proyecto que tenía un presupuesto aproximado de \$180 millones y un plazo de 19 meses. Los resultados de la aplicación redujeron el presupuesto inicial en aproximadamente un 2.5%. (construction-innovation, 2004)

4. **Mejor calidad:** la detección de los conflictos entre diseños y la mejor comunicación entre las partes, entre otros aspectos, se ve reflejado en una mejor calidad y producción.

Proyecto Escondida Fase IV

Proyecto de minería realizado en el año 2000 en Chile por la multinacional Bechtel. Su aplicación fue de gran utilidad en la visualización previa a la ejecución de las fundaciones del proyecto (100,000 m³ de concreto) y la estructura colindante, mejorando la constructabilidad del mismo y obteniéndose una reducción del plazo estimado inicialmente en 18 meses a 15 meses y con ello beneficios económicos. (GEUPC, 2005)

5. **Mejor servicio al cliente:** BIM le permite al cliente ser un agente activo en el proceso de construcción mediante la visualización 3D, que le permite dar su opinión en los diseños y demás aspectos que considere del proyecto. (Reyes, A. M., Candelario, A., Méndez, F., Cortés, J. P., & Prieto, A. P.)
6. **Mejor gestión de la información de proyecto:** BIM permite gestionar la información del proyecto de manera oportuna, permitiéndole a los diferentes involucrados en el proyecto una fácil modificación de la información antes, durante y posterior a la ejecución del proyecto.

4.5 MONITOREO IP DE PROYECTOS

La complejidad de administrar proyectos de construcción y la gran cantidad de variables que se deben supervisar durante la fase de ejecución de un proyecto hace que muchas veces se salga de las manos de los responsables directos y se generen situaciones en las que es necesario tener una segunda opinión en tiempo real de un experto o en el evento de una reclamación, tener pruebas documentadas de que ocurrió cuando se ejecutó la actividad implicada en la reclamación. Este tipo de situaciones normalmente resuelven en procesos poco ágiles y traumáticos donde muchas veces quedan temas ocultos por falta de documentación gráfica oportuna.

La tecnología actual brinda herramientas que se pueden aplicar a diferentes procesos de un proyecto de construcción que facilita enormemente su control y documentación. Según Abeid, Allouche, Arditi y Hayman, la posibilidad de incluir un sistema de cámaras con un software que administre la información recopilada, mejora notablemente el control de la ejecución de la obra en cuanto a calidad, productividad y documentación gráfica. (Abeid, J.; Allouche, E.; Arditi, D.; Hayman, M., 2003)

Un sistema de monitoreo IP consiste en ubicar una o más cámaras estratégicamente con el fin de poder visualizar su imagen desde cualquier sitio con acceso remoto a internet, similar a un circuito cerrado de televisión, con la diferencia que las imágenes pueden ser almacenadas en un procesador de alta capacidad y pueden ser vistas en tiempo real por cualquier persona que tenga acceso. (Guzmán, R., Hernández, G., 2013)



Es importante tener en cuenta que el hardware por sí solo no es capaz de procesar la información que adquiere y ahí es donde se requiere de la intervención del software y de las personas que lo controlan analizando la información, y para lograr que un sistema de monitoreo, en lo que sea que se use, sea efectivo es necesario una perfecta combinación de un hardware ideal para el entorno de uso, un software que satisfice la necesidad del usuario y un equipo de profesionales entorno al sistema que logre interpretar los resultados en el momento adecuado. (Kim C., Kim B., Kim H., 2013)

Actualmente, se usan sistemas de monitoreo en diversos sectores productivos, con el fin de generar herramientas sumamente útiles para todos y cada una de las personas de un determinado área de conocimiento, ya que potencian la capacidad para la búsqueda, intercambio de información, la adquisición de datos experimentales, la realización de cálculos, y el control de calidad de la manufactura (Acevedo, 2014). Pero si se comparan las actividades de un proyecto de construcción con la industria manufacturera se evidencia que hay un dinamismo y una dificultad mayor en la aplicación de sistemas de monitoreo IP mediante cámaras en la construcción ya que por sus condiciones de intemperie, y de un avance de obra en longitud o en altura hace más difícil el desafío de llegar con cámaras a cada uno de los frentes de trabajo, sin embargo identificando tareas puntuales y claves se pueden lograr resultados interesantes a favor del proyecto.

4.5.1 Referentes internacionales

Dentro del desarrollo en aplicaciones de monitoreo por cámaras IP se ha evidenciado a lo largo de la historia que se hace mucho énfasis en la vigilancia y seguridad, sin embargo aprovechando sus múltiples funciones ha habido desarrollo de aplicaciones para la industria de la construcción, con el fin de complementar procesos y de generar documentación gráfica de las obras.

PHOTO-NET II

PHOTO-NET II es un paquete de software desarrollado en un entorno de Delphi (Delphi es un entorno de programación de Windows que permite a los usuarios crear aplicaciones personalizadas), que vincula imágenes tomadas en lugares de un proyecto de construcción con la programación de la obra. (Abeid, J.; Allouche, E.; Arditi, D.; Hayman, M., 2003)

La forma cómo funciona el monitoreo en el software es tomando varias imágenes y almacenándolas, de tal forma que cuando se quiere ver en el archivo, este recrea video con una secuencia de imágenes tomadas en la actividad monitoreada.

El software, que se ejecuta en un equipo remoto, acepta imágenes digitales de hasta cuatro cámaras, recopilando imágenes de una página web las cuales son generadas por un servidor de vídeo situado en el sitio de construcción. Todas estas imágenes son una parte de la base de datos, la otra parte está compuesta por la programación de la obra y los datos que los usuarios van alimentando durante la ejecución de la construcción.

PHOTO -NET II requiere del uso de varios componentes que incluyen un microprocesador, un conjunto de cámaras de vídeo analógicas, un servidor de vídeo, dos conexiones de banda ancha, cables coaxiales y de energía y accesorios. (Ver Ilustración 14)

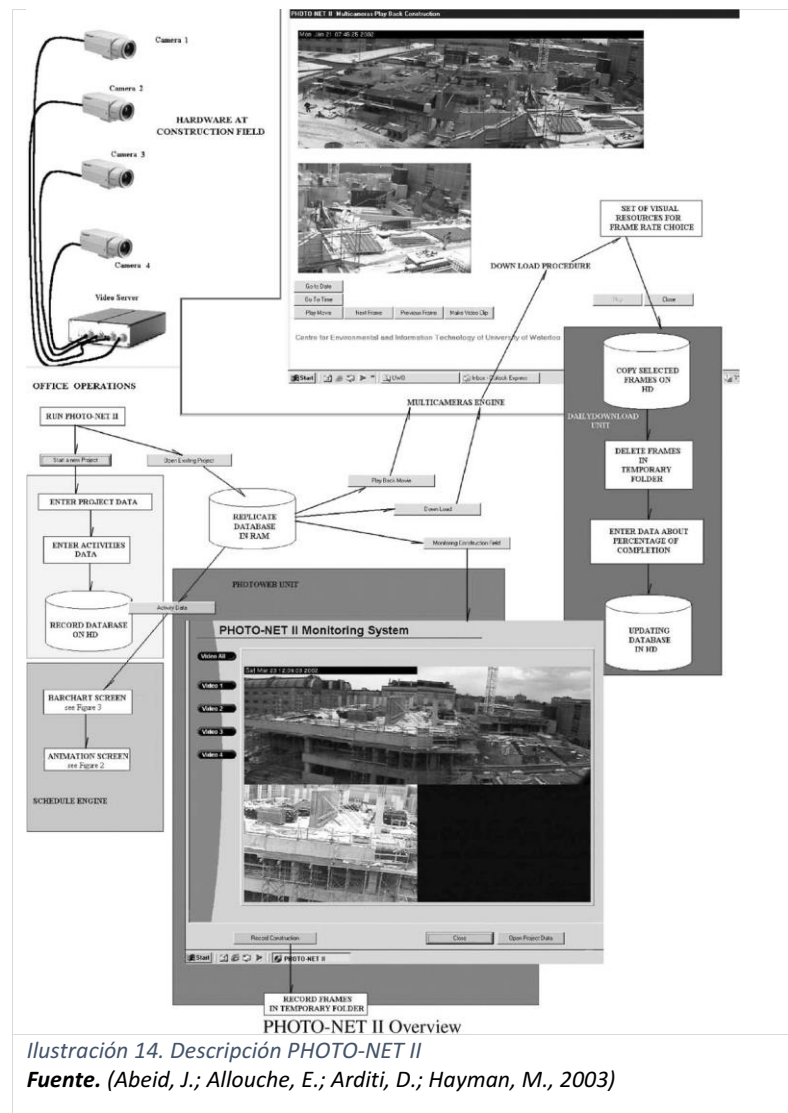
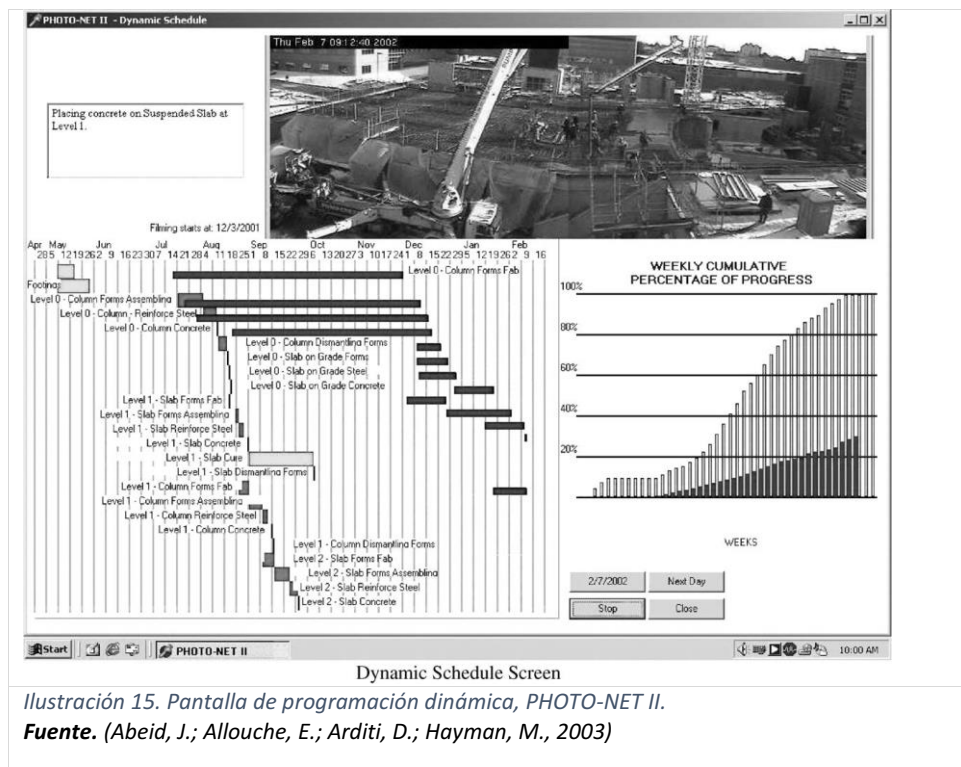


Ilustración 14. Descripción PHOTO-NET II

Fuente. (Abeid, J.; Allouche, E.; Arditi, D.; Hayman, M., 2003)

PHOTO- NET II hace uso del más reciente desarrollo tecnológico en las áreas de cámaras vigilancia y fotografía time-lapse. Estas características incluyen la capacidad de recibir, manipular y mostrar imágenes de varias cámaras al mismo tiempo; la posibilidad de utilizar Internet como medio de comunicación entre las cámaras y equipos remotos; y , la capacidad de controlar la velocidad de fotogramas de reproducción durante la reproducción de videos ya grabados estableciendo su fecha y hora.

El motor que reproduce las imágenes también muestra dos diagramas dinámicos: el primero muestra la programación frente a lo ejecutado realmente en un formato de gráfico de barras; y, el segundo la programación versus el porcentaje real de finalización en un formato de histograma. El motor también muestra videos de lapso de tiempo de las actividades en el sitio de construcción (Ver Ilustración 15).



El programa permite al usuario cambiar las velocidades de cuadro para poder ver los videos a una velocidad preferida, ver lo ocurrido en un día en particular, o en un tiempo específico. Por lo tanto, un análisis de cuadro a cuadro de un corto intervalo de tiempo puede llevar a visualizar claramente un acontecimiento significativo, como un accidente, la entrega de material o un evento climático particularmente adverso.

SINDEO es un portal de Seguimiento Integral de Obra desarrollado por la empresa española ACCIONA. Básicamente la desarrollaron como una herramienta de gestión en los proyectos propios de gran flexibilidad y adaptabilidad a las condiciones de trabajo de la construcción. Está constituido por una red de web-cams instaladas en los proyectos más importantes de la empresa que permite el seguimiento en tiempo real de todos ellos. Su principal servicio va dirigido al personal de obra que podrá acceder a información en tiempo real relacionada con procesos constructivos y sistemas de organización de recursos (Acciona, 2006). El sistema ha sido desarrollado y diseñado íntegramente por ingenieros de ACCIONA. SINDEO está estructurado de forma que se pueden seleccionar imágenes, incluso videos relacionados con temas de procesos, calidad, medio ambiente, seguridad e ingeniería.

Las principales ventajas y oportunidades que ofrece son las siguientes:

- **Procesos:** El monitoreo remoto permite seleccionar imágenes de procesos constructivos y hacer observaciones de ellos en el sistema. A lo largo del tiempo esta información acumulada permite disponer de una biblioteca de tecnologías y procedimientos clasificados por tipología de obra.
- **Medio ambiente:** Mediante el Centro de Información Web SINDEO se podrá recoger información acerca de procesos de Gestión Medioambiental. Esto permite disponer de una base de datos multimedia que facilita la formación y la implantación de sistemas de gestión medioambiental en nuevos proyectos de similares características.
- **Calidad:** Los sistemas de Gestión de Calidad necesitan de una herramienta de feedback que facilite la mejora continua de procesos. La Web SINDEO permite a los responsables de calidad extraer información en tiempo real para analizar y mejorar los procedimientos existentes y elaborar nuevos procedimientos basados en información gráfica.
- **Seguridad:** El sector de la construcción es uno de los sectores de más alta siniestralidad entre las actividades industriales, la recogida de información en tiempo real acerca de escenarios de accidentes permitirá un análisis de los mismos y una mayor eficacia en la definición de medidas correctoras. El potencial de esta herramienta no sólo se limita al análisis y estudio de escenarios de trabajo, sino que además permite ser utilizada en la formación de nuevos ingenieros, encargados y oficiales.
- **Planificación:** La terminación de los proyectos en plazo es una demanda cada vez más importante de los clientes. Para ello es imprescindible que los responsables del proyecto

puedan realizar un seguimiento real de los trabajos. Este seguimiento debe permitir analizar y posteriormente mejorar la disponibilidad de recursos y la organización de los mismos. A través del Centro de Información Web SINDEO se pueden realizar las tareas de planificación.

Instalación de las cámaras

Las cámaras están situadas en el punto más adecuado para dar cobertura a la mayor superficie posible de la zona dependiendo de las necesidades de la misma. Esto requiere que el sistema disponga de una perfecta autonomía, para lo que se han desarrollado distintas soluciones. En situaciones donde la comunicación entre la cámara y el acceso a internet se hace imposible, se utilizan routers con conexión digital 3G. Otros casos en que resulta imposible conectar a la red eléctrica el sistema, se ha implementado una solución a base de panel solar.

Archivos producto de análisis

SINDEO ofrece la posibilidad de controlar la obra desde cualquier punto con acceso a Internet, lo que permite las siguientes actividades:

- Programar eventos para la creación de vídeos cuando desee: a cualquier hora del día y desde distintas posiciones programadas de la cámara.
- Acceder en todo momento a su histórico de vídeos.
- Descargar los vídeos en nuestro ordenador.
- Visualizar los vídeos sin necesidad de descargarlos.

CONTROL CENTER 7

CONTROL CENTER 7 es un software desarrollado por la empresa estadounidense EARTHCAM, dedicada al desarrollo de cámaras de monitoreo de alta tecnología y al servicio de monitoreo de todo tipo de proyectos. (Earthcam, 2015)

Dentro de los servicios que presta está el de monitoreo de proyectos de construcción mediante su software y hardware, cuyo lado más atractivo es el de la realización de un Time-Lapse (fotos desde el mismo punto en un lapso de tiempo corto) completo durante la construcción y operación de edificaciones de gran envergadura.

Las fortalezas más notables de este software y hardware son:

1. **Video en vivo remoto:** Ofrece la posibilidad de controlar de forma remota vídeo de alta calidad y de una manera muy fácil, aprovechando al máximo las funciones avanzadas de la cámara. El software es compatible con las cámaras de posiciones robóticas o fijas y ofrece

30 vinculaciones de visualización para computadores y dispositivos móviles. Incluso puede controlar y compartir sus cámaras desde sus dispositivos móviles. EarthCam ofrece herramientas de desarrollo ágiles que producen un código HTML personalizado para incrustar en su sitio web público, por lo que es fácil de integrar imágenes de la cámara en vivo en su sitio web.

2. **Imágenes en hd y panorámicas:** El hardware que ofrece EarthCam puede incluir cámaras hasta de 1000 megapíxeles con imágenes hasta de 360 grados de amplitud para identificar el proyecto en su totalidad.
3. **Seguridad en el archivo:** Los servicios de archivo de nivel profesional de EarthCam protegen la información visual mucho después de que su proyecto se ha completado. En tiempo real le proporciona una base de datos en línea completa de imágenes grabadas del sistema de cámaras. Los archivos son de fácil acceso mediante un calendario de búsqueda o característica línea de tiempo.
4. **Línea de tiempo al instante:** Crea videos time-lapse instantáneas de manera que el usuario decide mediante un calendario que video quiere visualizar. La reproducción incluye datos meteorológicos y otros detalles que proporcionarán información valiosa sobre las condiciones del proyecto del pasado y presente.
5. **Información del clima:** permite comprobar los datos actuales o históricos del clima al instante, contar los días de lluvia y ver un pronóstico de 48 horas. Además permite ver las condiciones locales con la actualización continua por satélite del servicio meteorológico nacional, el mapeo de radar y las advertencias de clima severo. Diariamente se puede revisar días con mal tiempo, la temperatura, la humedad, la presión barométrica y la visibilidad, así como la velocidad del viento y dirección. Recibe alertas por email cuando la velocidad del viento alcanza un cierto umbral. También permite descargar datos importantes en una hoja de cálculo Excel.
6. **Comparación de imágenes:** La herramienta de comparación de imágenes proporciona una "radiografía" de un trabajo en progreso. Las imágenes resultantes permiten verificar con precisión las etapas de construcción desde los cimientos hasta la terminación, lo que le permite aislar los eventos críticos durante el proyecto. (Ver ilustración 16)

de

de



Ilustración 16. Comparación de Imágenes.

Fuente. (Earthcam, 2015)

7. Herramientas

edición: permite utilizar diversas herramientas dibujo para incluir en los informe de avance de

obra o en el control de calidad de la obra. (Ver ilustración 17)

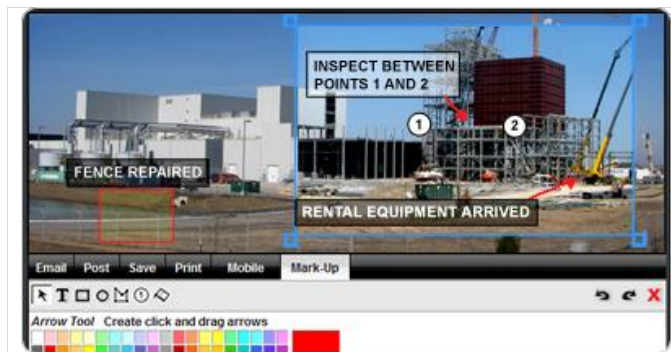


Ilustración 17. Herramientas de edición.

Fuente. (Earthcam, 2015)

8. **Registro fotográfico:** permite documentar el registro fotográfico de la obra en un servidor, organizar de manera muy simple la biblioteca de imágenes y clasificar la búsqueda de imágenes por fecha, hora, personal, ubicación en el lugar de trabajo y etiquetas de palabras clave. (Ver ilustración 18)



Ilustración 18. Registro fotográfico.

Fuente. (Earthcam, 2015)

9. **Informes de avance automáticos:** Genera informes basados en una selección de plantillas y utiliza imágenes directamente desde el sistema de cámaras, más la información introducida en el área de notas. El Servicio de Gestión de Proyectos genera automáticamente informes profesionales disponibles para compartir en formato PDF o presentación de PowerPoint.

4.5.2 Referentes nacionales

ION TECHNOLOGIES

En el ámbito local algunas de las empresas de mayor tamaño en el país, y algunas Multinacionales en grandes proyectos locales, han implementado iniciativas aisladas de monitoreo, instalando cámaras para la visualización remota de obra y para el control de seguridad. A partir de ese momento, dicha actividad, se ha generalizado en empresas de tamaño medio, en los sectores inmobiliarios y de infraestructura, pero continúa la orientación de vigilancia, seguridad y visualización de obra en su gran mayoría.

ION TECHNOLOGIES es un proyecto de implementación de monitoreo virtual de proyectos de construcción en Colombia, tiene sus inicios en el año 2007 con la empresa ION Technologies S.A.S., cuando conoce la plataforma de monitoreo virtual de proyectos SINDEO, (descrito anteriormente), en una misión tecnológica realizada a España. Luego de apreciar el potencial de la herramienta en el monitoreo y gestión de proyectos y en el marco de colaboración establecido en la misión tecnológica, se enviaron equipos para la implementación de la iniciativa en Colombia y se brindó el acceso a la plataforma virtual y permitió la vinculación de los proyectos Colombianos a la plataforma SINDEO. El equipo empleado para el monitoreo virtual de proyectos consistía en cámaras PTZ (Pan –Tilt – Zoom) de alta especificación y de origen comercial, a las cuales se les hacían adaptaciones especiales, como la construcción de una carcasa exterior para su protección de la intemperie y de las condiciones desfavorables que se presentan para los equipos electrónicos por las condiciones de polvo, humedad, salinidad, nieve, entre otros que se tienen en las obras de construcción. Adicionalmente esta adaptación contenía un domo protector anti reflejo, un sistema de refrigeración o calentamiento dependiendo del clima en que se encontrara la obra destino, un filtro para evitar el ingreso de polvo y suciedad y permitir el ingreso de aire al interior y un sellante hermético para evitar el ingreso de humedad. La mayoría de las obras en el continente Europeo de Acciona infraestructuras al momento de la implementación local y de la transferencia tecnológica, eran monitoreadas mediante

red 3G, debido a que la velocidad era adecuada, permitía una visualización fluida de la imagen, y facilitaban la instalación de los equipos en obra, al suprimir el uso de cables. Bajo este esquema y debido a que los operadores celulares en Colombia, ya se encontraban ofreciendo internet móvil 3G, se optó por realizar la implementación bajo esta plataforma de comunicación. Para esto, dentro de la carcasa adaptada para el uso de las cámaras PTZ en obra, se adicionaba un enrutador 3G de la misma tipología empleada en el sector bancario, con el fin de garantizar la seguridad en la información transmitida. Luego de la oficialización del acuerdo de colaboración establecido con la multinacional, y con los equipos en Colombia, se procedió a la ejecución de ensayos y pruebas con los equipos, iniciando con pruebas de conexión, funcionalidad, y configuración, pruebas que resultaron exitosas y permitieron la visualización de las cámaras dentro de red local; posteriormente se adquirieron las sim cards 3G, de los mayores operadores en la fecha: Comcel, Tigo y Movistar, las cuales fueron probadas en los enrutadores 3G adaptados a los equipos en los sectores de Sabaneta y Envigado inicialmente y posteriormente en la ciudad de Medellín, donde se presentaron los siguientes problemas:

- **Falta de cobertura en la red 3G:** Aunque en los diferente sitios probados siempre al menos uno de los operadores contaba con señal celular, está en gran parte de los sitios no era 3G, por esto no se lograba la transmisión de información; imágenes y video deseadas.
- **Inestabilidad de la señal:** Por encontrarse en las primeras etapas de implementación de la comunicación 3G en Colombia, la señal era inestable, perdiendo la conexión a los equipos de una manera periódica, y dado que estos tenían un tiempo de inicio considerable, de aproximadamente 30 segundos, esto producía discontinuidad importante en la transmisión de información.

Las pruebas efectuadas con los enrutadores 3G, con los mayores operadores nacionales, permitieron concluir, que dado el detalle, la precisión y la continuidad requerida en el monitoreo virtual de proyectos de construcción, la implementación local de la iniciativa mediante tecnología 3G no era posible inicialmente, se debía esperar a tener una mayor madurez y desarrollo de esta en el país. Dicha situación se compartió con los ingenieros responsables de la plataforma SINDEO y el monitoreo virtual de proyectos de Acciona Infraestructuras en el mundo. Se decidió la implementación de red física prioritariamente, en los proyectos iniciales. Se implementaron para el monitoreo de los proyectos de Vivienda Torre Mantis, Torre Saltamontes y Torre Cigarras, de la Constructora Grupo Monarca S.A., ubicados en el Municipio de Sabaneta. (Acevedo, 2014)

IDEO (Inspector DE Obra)

Desarrollado en 2012 por Estructuras & Sísmica S.A.S buscando soluciones innovadoras para los diferentes desafíos que se plantean en los proyectos donde la empresa maneja interventorías. Su principal fin es complementar por medio de tecnología de punta la toma de decisiones durante la etapa constructiva de los proyectos, y dar la posibilidad a los diseñadores, constructores, interventores, dueños del proyecto, y compradores de ver en tiempo real el avance de obra del proyecto. (Estructuras & Sísmica S.A.S, 2012)



Ilustración 19. Pantalla de inicio IDEO

Fuente. (Estructuras & Sísmica S.A.S, 2012)

DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA

IDEO (Inspector de obra) es un sistema de monitoreo integral que surgió a partir de la necesidad en la interventoría técnica de llevar un mejor control en obra de diferentes aspectos. El sistema está concebido para controlar 3 aspectos diferentes dentro de la obra:

- **Análisis de rendimientos:** por medio de este controla todo lo relacionado con control de rendimientos en las diferentes actividades de construcción dentro de la obra. Esta es una herramienta que permite optimizar procesos constructivos e identificar los motivos por los cuales se presentan retrasos en el avance de obra.
- **Control de personal:** mediante una identificación que se le asignara a cada uno de los trabajadores fijos en la obra se calificará el desempeño de cada trabajador en las actividades principales de la obra y se llevara una estadística completa durante toda la fase constructiva. Esto permite ir realizando una clasificación de personal según su desempeño y actitud en las

actividades para así identificar de cual personal se puede prescindir en el momento que se necesite y cual personal se puede estimular con bonificaciones para que esto se refleje en beneficio para la obra.

- **Control de calidad:** el sistema permite llevar un control de calidad cualitativo, enfocado en la calidad de los procesos constructivos, (armado de acero, tendido de cables de pos tensado, armado de obra falsa, tratamiento de juntas, manipulación del concreto en el vaciado, etc.) esto se coteja con el control de calidad normal en obra (resultado de cilindros, control de mezclas, calidad de acero, etc.), este control permite saber el porqué de los resultados cuantitativos y tomar correctivos antes de los vaciados para que la calidad de los diseños no se altere.

Para llevar a cabo este control integral en obra la compañía Estructuras & Sísmica S.A.S desarrollo el software IDEO, el cual se alimenta con los datos monitoreados, y este se encarga de generar los resultados y estadísticas que posteriormente la interventoría técnica analiza y anexa en los informes mensuales de interventoría.

5 MARCO PRÁCTICO

5.1 INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior se presentó una aproximación a la amplia documentación acerca de diferentes aspectos relacionados con la gestión de proyectos y la implementación de tecnologías para su mejora. En el presente capítulo se presenta el proyecto piloto realizado en Cantaginore Tre Piu, en la construcción de la estructura, con la implementación del modelado 4D, en la fase de planificación; y monitoreo de productividad IP en la fase de ejecución. Esto se realizó con los siguientes propósitos: 1. Buscar solución a necesidad local de mejorar procesos en la gestión de proyectos. 2. Verificar las ventajas y posibles inconvenientes de la aplicación de estas tecnologías en proyecto local. Adicional a esto, se busca demostrar como la integración de estas dos herramientas en la fase de construcción pueden ayudar a contrarrestar los efectos que surgen por la diferencia entre lo planeado y lo ejecutado, lo que permite el seguimiento y control del proyecto en su construcción ya que el modelo 4D es una herramienta de referencia con el que se puede comparar los datos obtenidos por el monitoreo IP.

En primer lugar se vio oportuno realizar una contextualización, como una fase de transición entre metodologías y herramientas internacionales, y el proceso de construcción tradicional local. Esto tomando como referencia la experiencia adquirida por la empresa Estructuras & Sísmica S.A.S en interventoría en proyectos de construcción y en diseño de edificaciones.

Luego se presenta la metodología del proyecto piloto en la que se describe detalladamente proceso de implementación. Para pasar luego a describir el desarrollo del proyecto y exponer el análisis de resultados con base en datos reales obtenidos de la implementación.

5.2 CONTEXTUALIZACIÓN

5.2.1 Proceso local de gestión y desarrollo de proyectos de construcción de vivienda privada

Para la implementación del modelado 4D y el monitoreo IP, fue importante identificar las dificultades que se presentan en el proceso de construcción tradicional y cómo la tecnología BIM puede presentar mejoras en este proceso. Por esta razón a continuación se presenta una aproximación al proceso local de gestión y desarrollo de los proyectos de construcción de vivienda privada, en el que se exponen las diferentes fases con su respectiva descripción e

inconvenientes que generalmente se presentan, así como las partes involucradas para su desarrollo.

Tabla 7. Partes involucradas en el proceso de construcción tradicional local

Parte Involucrada	Descripción
Grupo promotor	Es el dueño del proyecto y quien identifica la oportunidad de desarrollar vivienda, realiza la inversión y coordina todas las partes para que ese proyecto sea exitoso. Puede estar integrado por: empresas constructoras, gerencia y comerciales.
Consultores	Contratados por el promotor y buscan darle la viabilidad técnica al proyecto, incluye a los diferentes diseñadores.
Constructor	Puede ser parte del promotor y se encarga de construir el proyecto.
Gerencia	Administra y consigue los recursos para ejecutar el proyecto.
Comercial	Realiza la publicidad y ventas del proyecto.
Inversionistas	Dispone sus recursos para la realización de parte o todo el proyecto, no hace parte en la toma de decisiones.
Fiducia	Administra el dinero que se recauda por ventas para que se destine al proyecto prometido.

Fuente. Elaboración Propia.

1|2

El proceso local de gestión y desarrollo de los proyectos de construcción de vivienda privada se divide en tres fases: 1. Planificación, 2. Ejecución de obra., 3. Cierre.

Fase de Planificación:

1. **Iniciativa:** comprende la intensión de un grupo promotor o un particular para desarrollar un proyecto.
2. **Estudio del predio:** éste hace referencia al predio en el cual se desarrollara el proyecto, en la cual se analizan dos aspectos importantes: la ubicación comercial y que cumpla con la normatividad necesaria para el desarrollo del proyecto, la cual determina número de viviendas permitidas, el área que se puede construir, altura máxima de la edificación, entre otras variables.
3. **Estudio de pre-factibilidad financiera:** Para esto el grupo promotor realiza una proyección inicial para determinar que el valor del predio se ajuste financieramente a los valores comerciales, valor de venta de metro cuadrado y utilidades, que se pueden alcanzar con el desarrollo del proyecto, con el fin de determinar la pre-factibilidad

financiera del proyecto y proceder al pago del predio en caso de obtener un resultado positivo.

4. **Pago del predio:** comúnmente se tiene dos modalidades:
 1. Pago directo: consiste en pagar directamente el valor estipulado al dueño. Esto es de alto riesgo financiero por la incertidumbre de que el proyecto sea exitoso en ventas, para lo cual es muy importante un estudio de pre-factibilidad adecuado.
 2. Fiducia: en esta fase se llega un acuerdo con el dueño de predio para realizar el pago por medio de una fiducia, garantizando que el lote este congelado allí y le permita al promotor promover el proyecto sin necesidad de realizar inversiones previas al punto de equilibrio. Esto es una figura de cero riesgos para el promotor y el dueño del predio, así como para los compradores de la vivienda, ya que esta entidad ayuda a que los dineros del proyecto se utilicen adecuadamente.
5. **Diseño:** el promotor contrata sus diseñadores: arquitecto, estructural, geotecnista, hidrosanitario, eléctrico, etc., para diseñar el proyecto y conseguir licencia de construcción. En esta fase se presenta normalmente como falencia que se entregan diseños sin integrar y sin solucionar interferencias entre ellos, lo ideal sería que a este punto este el diseño revisado y aprobado para construcción, modelado e integrado para garantizar que lo que se venda es lo diseñado.
6. **Licencia de construcción:** Una vez definido el proyecto en sus diseños se tramita licencia de construcción y ventas, y se inicia las ventas del proyecto. Como inconveniente en esta fase se presenta que se obtiene la licencia de ventas sin que estén completamente terminados y depurados los diseños, esto hace que no se sepa el valor final y se venda un proyecto que posiblemente tenga variaciones en la parte técnica. Todo esto afecta al consumidor final, quien asume las consecuencias, y a los promotores por la responsabilidad y el efecto negativo que esto tiene en las utilidades.
7. **Inicio de ventas:** el grupo promotor realiza una gran inversión en publicidad y ventas para que las ventas se realicen lo más rápido posible. En esta fase los diseños quedan en el aire hasta la fase de construcción.
8. **Ajustes de diseños:** Paralelo a las ventas se hace el trámite de la licencia de construcción, para que cuando se llegue a punto de equilibrio, se pueda iniciar la construcción.

- **Programación de la obra:** con todos los diseños listos. Normalmente no llegan los diseños integrados y depurados, debido a que los esfuerzos se concentran en vender, dejando de lado el detalle de los diseños.

Fase de Ejecución de obra:

10. **Ejecutar todos los diseños:** Con el objetivo de cumplir la programación. Al identificar interferencias en la fase de construcción se toman decisiones sobre la marcha, lo que puede generar: sobre costos, baja calidad de la obra y retrasos en la programación. Esto porque se apunta a cumplir con los tiempos sacrificando las demás restricciones.
11. **Entrega al consumidor:** se entrega el inmueble al comprador. Generalmente inicia durante la fase final del proyecto, es decir aún en construcción de otra etapa de la obra. Normalmente no se entrega en el tiempo estipulado y cumpliendo el presupuesto asignado.

Los inconvenientes presentados anteriormente son los que se podrían solucionar con la implementación de BIM, lo cual facilita que se entregue el producto en el tiempo estimado, con el valor presupuestado y con la calidad planeada.

5.2.2 Proceso de modelado 4D en la fase de planificación

El Modelado 4D como herramienta es un proceso que se realiza durante la fase de planificación, el cual consta de varios pasos y de un equipo capacitado para realizarlo. El equipo de trabajo está conformado por:

- Coordinador, requiere experiencia y conocimiento en BIM.
- Diseñadores, capacitados para el manejo de los softwares.
- Constructor: quien ejecuta la obra.
- Programador, quien realiza la programación de obra.

Fases de Modelado 4D:

A continuación se describe el proceso, esto basado en la literatura y en experiencias anteriores en la empresa Estructuras & Sismica S.A.S.

1. **Modelado 3D:** cada diseñador realiza el modelo 3D: estructural, eléctrico, hidrosanitario, etc.
 - Resultado: Modelos individuales.

- Software: REVIT. Hardware: computador con especificaciones técnicas especiales indicadas por el software.
2. **Integración del 3D:** el coordinador integra los diferentes diseños, por medio del software Navisworks.
 - Resultado: modelo 3D integrado.
 3. **Solución de interferencias del modelo 3D:** El coordinador identifica las interferencias entre los diseños, es decir si funcionalmente no son compatibles los diseños. Por esta razón es de suma importancia identificarlas, analizarlas y solucionarlas en esta fase, para reducir la incertidumbre que genera el hallazgo de interferencias en la fase de construcción, que normalmente afectan el costo, el tiempo y la calidad del proyecto. Esta fase del proceso es una de las grandes ventajas que ofrece la tecnología BIM, porque por medio de este análisis se reduce el riesgo de posibles dificultades en el futuro y permite optimizar los diferentes diseños que requiere una obra civil.
A continuación, para solucionar las interferencias, el coordinador identifica los profesionales idóneos para solucionarlas, comunicarlas, buscar opciones, tomar la decisión adecuada y actualizar el modelo integrado con las interferencias solucionadas.
 4. Resultado: Modelo 3D integrado sin interferencias.
 5. **Modelado 4D:** se realiza la integración del modelo 3D con la programación de obra de la siguiente forma: el programador (director del proyecto o consultor externo) entrega la programación realizada normalmente en el software Ms Project o similar. A cada uno de los elementos del modelo 3D, se le asigna cada una de las duraciones de las actividades de la programación, utilizando para ello el software Navisworks. De esta forma se visualiza el proceso constructivo de cada uno de los elementos del modelo 3D como se programó. Adicional a esto se identifican y analizan las interferencias entre el proceso de construcción y la programación.
 - Resultado: Modelo 4D con Simulación del proceso de construcción.
 6. **Solución de interferencias del modelo 4D:** una vez identificadas las interferencias se selecciona el profesional idóneo para darle solución, de esta manera el especialista de cada área desde su experiencia lo soluciona.
 - Resultado: Modelo 4D aprobado para la fase de construcción.

5.2.3 Monitoreo de productividad IP en la fase de ejecución de obra

Durante la ejecución de la obra es necesario realizar una supervisión adecuada ya que a pesar de que se logre coordinar los diseños sin interferencias entre ellos, existen otras variables que pueden generar imprevistos durante la fase construcción los cuales pueden afectar la calidad, si no se solucionan adecuadamente, el tiempo y el presupuesto, si se incurren en retrasos y sobrecostos para solucionarlos. Por esta razón lo que se busca con la supervisión es que los imprevistos generados durante la construcción sean identificados y solucionados a tiempo por la persona idónea. Dichos imprevistos pueden ser error humano, interacción entre diferentes aspectos de la obra, diferentes contratistas, coordinación con los diferentes operadores; capacidad de la red de internet, entre otros.

Por esta razón, el monitoreo de productividad IP, es la supervisión que se realiza con un software integrado a cámaras IP durante toda la fase de ejecución de obra y que busca documentar los rendimientos, la calidad y la incidencia del personal en las diferentes actividades de la obra, con el fin de hacer un seguimiento real de la obra teniendo como referencia la programación en el modelo 4D, con el propósito de brindar un soporte real para la actualización de la programación de obra y realizar los cambios necesarios, ayudar a mejorar la productividad del proyecto, siendo el medio por el cual el personal idóneo identifica, analiza y soluciona a tiempo los imprevistos que se generan en la ejecución de obra.

Para esto se requiere un supervisor de obra que con ayuda del software, en este caso IDEO, genera los datos adecuados para la documentación, entregando información al proyecto para que las soluciones que se requieren urgentemente sean gestionadas por la persona idónea, y no se improvise o se presenten problemas de comunicación tomando decisiones equivocadas. Para esto el software permite que el consultor acceda, identifique la situación y proponga por escrito una solución, lo cual mejora la comunicación eliminando intermediarios, garantizando que el procedimiento es el adecuado y dejando registro de la situación presentada.

5.3 METODOLOGÍA

A continuación se enuncian las actividades necesarias para que se cumpla el objetivo del proyecto:

- Capacitación en el uso adecuado de los softwares necesarios para realizar el modelo 3D con los diseños arquitectónicos y estructurales: Autodesk Revit Architecture; y luego el modelo 4D involucrando la programación de obra de la construcción de la estructura: Autodesk Navisworks Manage.
- Recopilar, entender y depurar los diseños arquitectónicos, estructurales y la programación de la obra para realizar la modelación en 4D del proyecto específico.
- Socializar el modelo 4D con el personal profesional de obra y los consultores que intervienen en el proceso constructivo del proyecto.
- Realizar una escogencia detallada del hardware necesario para el monitoreo IP.
- Instalar y coordinar la ubicación de cada uno de los equipos necesarios para realizar el monitoreo IP.
- Calibrar el software IDEO para la implementación del mismo en el monitoreo de las actividades relacionadas con la construcción de la estructura en el proyecto.
- Contrastar la información programada en el modelo 4D con lo obtenido con el monitoreo IP y advertir que ajustes se deben hacer a la programación.
- Presentar el proyecto a la junta directiva de la empresa exponiendo los resultados obtenidos para que consideren la posibilidad de seguir implementando esta metodología en sus futuros proyectos.

La elaboración de este proyecto se realizara en varias ubicaciones ya que cada etapa involucra diferentes lugares, a continuación se enuncia cada uno de estos.

- La capacitación en el software Revit y Navisworks se realizó en la universidad EAFIT con la ayuda del semillero de investigación en gestión de la construcción y la asesoría del profesor Luis Fernando Botero.
- La recopilación y depuración de los diseños se realizó en las oficinas de Cantagirone y Estructuras & Sísmica S.A.S, debido a que era necesario realizar esta actividad con el programador, los arquitectos, los diseñadores estructurales, la interventoría y los constructores.

- El modelo 3D y 4D se realizó en la universidad EAFIT con el soporte de un estudiante de pregrado miembro del semillero de investigación en gestión de la construcción de la universidad.
- La calibración del software IDEO para las necesidades específicas del proyecto se realizó en las oficinas de Estructuras & Sísmica S.A.S en compañía del programador del software.
- El monitoreo IP de las actividades se realizó desde las oficinas de Estructuras & Sísmica S.A.S y de Cantagirone, en las cuales estuvieron involucrados el diseñador estructural y el dueño de la empresa constructora.

Para el desarrollo del proyecto fue necesario inicialmente llegar a un acuerdo con la empresa constructora en el cual se determinó que los recursos necesarios para el hardware serían suministrados por dicha empresa, y el personal necesario para realizar los modelos y el monitoreo serían suministrados por Estructuras & Sísmica S.A.S, (empresa contratada para el diseño estructural y la supervisión técnica del proyecto Cantagirone Tre Piu). De esta forma la implementación del proyecto serviría para identificar los beneficios esperados de la metodología planteada para el desarrollo de los futuros proyectos de ambas empresas.

5.4 DESARROLLO

5.4.1 Descripción del proyecto

Tabla 8. Descripción del proyecto.

Categoría	Descripción
Nombre	Cantagirone Tre Piu
Ubicación	Medellín, Barrio El Poblado.
Tipo de estructura	Aporticada con placa postensadas.
Número de niveles	37 Niveles.
Uso	Vivienda estrato 6.
Constructor	Cantagirone S.A.
Interventoría	KyJ S.A.S.
Supervisión Técnica	Estructuras & Sísmica S.A.S
Diseño Estructural	Estructuras & Sísmica S.A.S
Diseño Arquitectónico	Juan Forero

Fuente. Elaboración propia.

El proyecto Cantagirone Tre Piu es una torre de 37 niveles y 140m de altura. Por sus características, la construcción de la estructura es de alta complejidad y por tal motivo se escogió para ser la prueba piloto de la metodología propuesta para el control de la productividad mediante el monitoreo IP contrastado con la programación modelada en 4D.

Se habla de alta complejidad en la construcción de la estructura por los siguientes elementos no convencionales:

- La torre como tal tiene alturas libres entre el acabado de la placa y la viga más descolgada de 3.25m, por lo que la obra falsa de todos los elementos requiere un equipo especial debido a la rigidez que se necesita garantizar y la logística de transporte vertical se hace más compleja.
- Las vigas tienen luces hasta de 11m y las vigas y nervios llevan refuerzo activo no adherido (postensados), lo cual requiere un control de calidad más riguroso.
- A partir del piso 20 hay 4 columnas que continúan por fuera de la placa, haciendo más complejo y riesgoso el encofrado, armado y vaciado de las mismas.
- Las columnas principales del edificio son muy voluminosas, lo cual hace que su armado y vaciado tarde más tiempo del convencional porque se requiere equipo muy especializado para el encofrado y tiempo suficiente de vibrado para que el concreto quede sin vacíos.
- Cada placa en promedio cubica 140 m³ de concreto, sus vaciados se partieran en tres (3) tramos ya que por la capacidad del proveedor de concretos, del contratista de mano de obra y de las restricciones de horarios nocturnos se hacía imposible hacer los vaciados con menor número de juntas.

Por estos motivos se identificó que la programación de la construcción de la estructura no podía realizarse como comúnmente se hace a rendimientos y experiencias de proyectos convencionales de vivienda y oficinas que la empresa constructora antes había realizado.

5.4.2 Modelo 3D estructural

NIVELES DE TRABAJO EN REVIT

Para iniciar el trabajo en Revit se partió de una plantilla en unidades métricas, a esta plantilla se le crearon los niveles de acabado de la estructura con cotas topográficas reales según los planos suministrados; en total fueron 37 niveles.

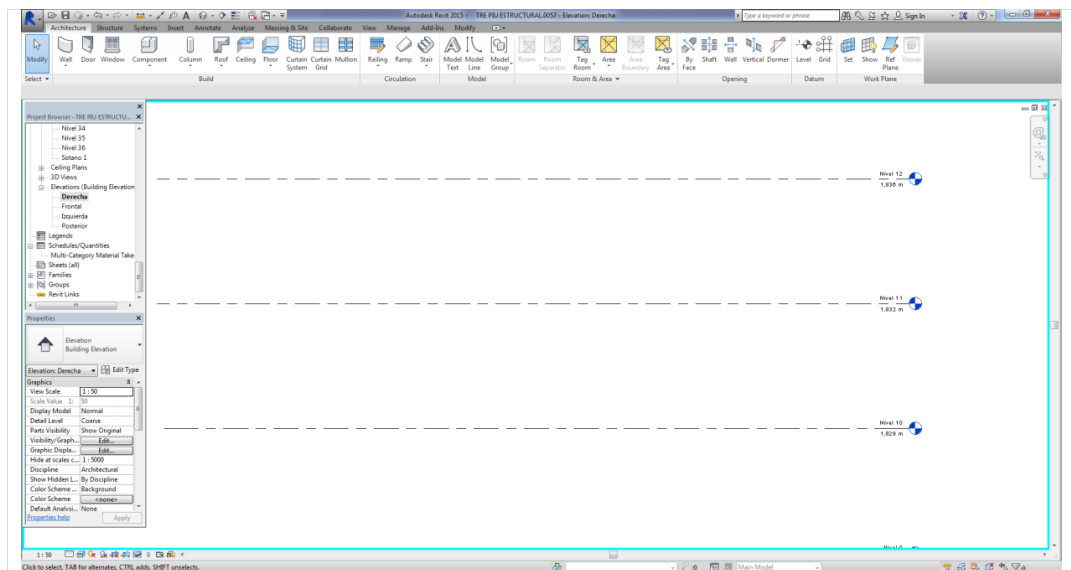


Ilustración 20. Ubicación de niveles de construcción en plano de alzada.

Fuente. Elaboración propia.

CONSTRUCCIÓN DE LAS PILAS

En esta etapa comienza el proceso constructivo del edificio como tal, este proceso se realizó según su orden lógico: en primer lugar la cimentación.

Luego de vincular el plano de fundaciones en su ubicación real se realizó la ubicación de las pilas en el plano y se estableció su profundidad.

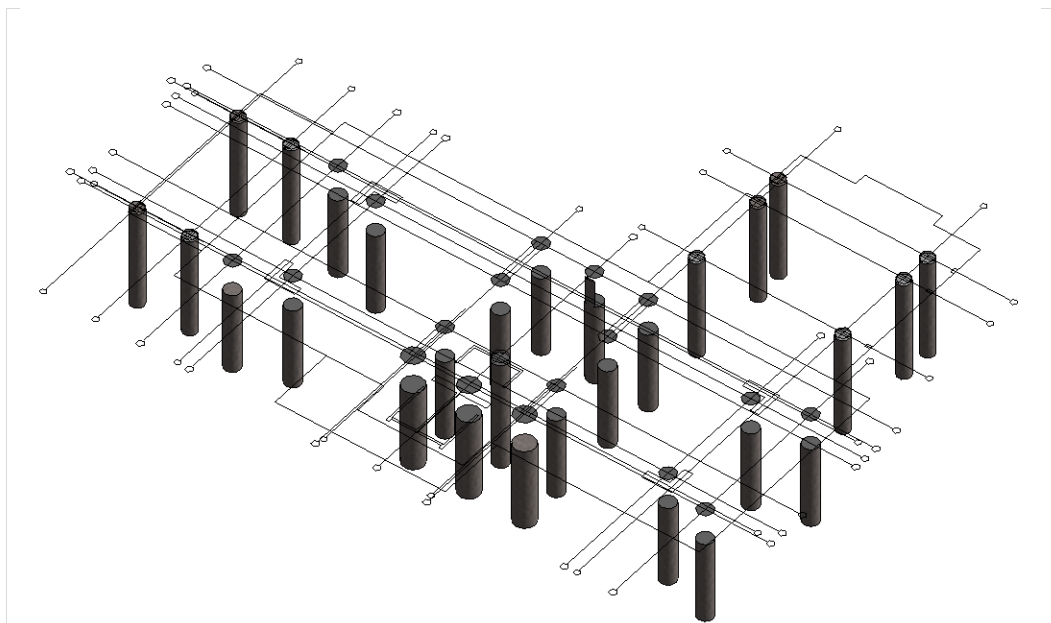


Ilustración 21. Proceso de ubicación de las pilas según plano de cimentaciones.

Fuente. Elaboración propia.

CONSTRUCCIÓN DE LA PLACA DE FUNDACIÓN

La cimentación de esta torre es combinada y consta de pilas en concreto que cumplen la labor de empotramiento para el volcamiento y una placa que es la que genera la trasmisión de cargas gravitacionales al suelo. Esta placa fue el primer reto desde el diseño hasta su construcción.

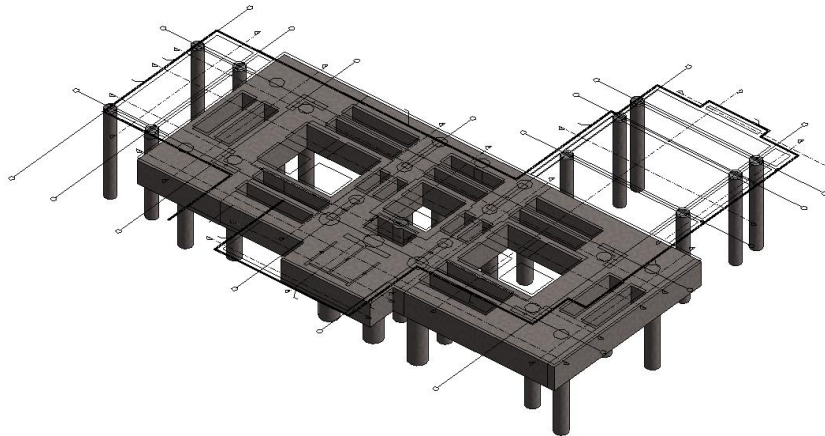


Ilustración 22. Placa de cimentación.

Fuente. Elaboración propia.

CONSTRUCCIÓN DE COLUMNAS

Luego de vincular el plano de cada nivel se identificaron los tipos de columnas y se crearon las familias y los tipos según su especificación de geometrías y resistencia del concreto.

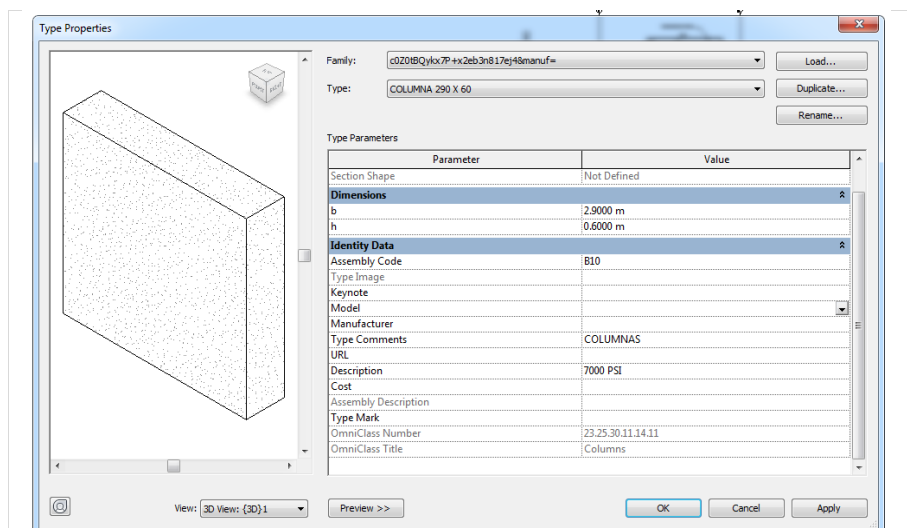


Ilustración 23. Crear tipos de columnas con los parámetros de diseño.

Fuente. Elaboración propia.

Una vez se fueron creados los tipos de columnas que contempla el diseño se inició la construcción de cada columna indicando el nivel donde inicia y donde termina.

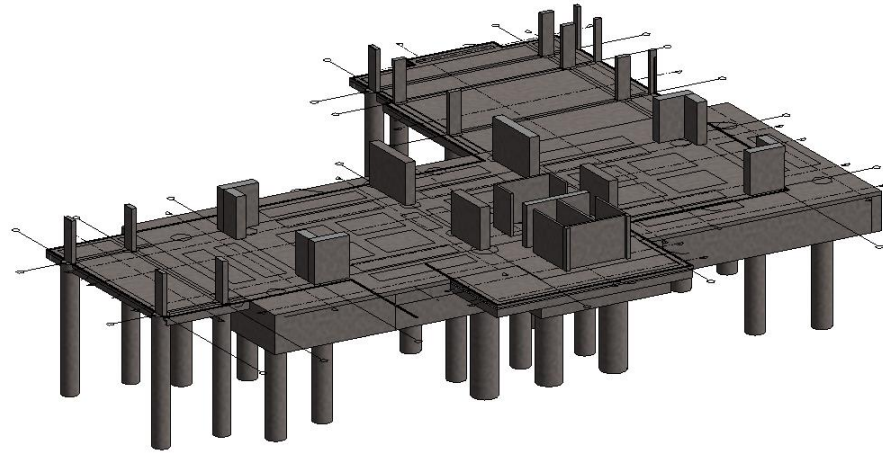


Ilustración 24. Insertar columnas según los tipos y niveles.

Fuente. Elaboración propia.

CONSTRUCCIÓN DE PLACAS

Para iniciar la construcción de las placas se definieron los tipos de vigas y nervios según su geometría y resistencia del concreto. Una vez creados los tipos, se ubicaron calcando el plano previamente vinculado en cada nivel, teniendo en cuenta que en las intersecciones de las columnas las vigas no continúan, ya que se considera según el diseño estructural que los nudos en las placas hacen parte de las columnas y por tal razón se deben fundir con el concreto de resistencia especificada para la columna.

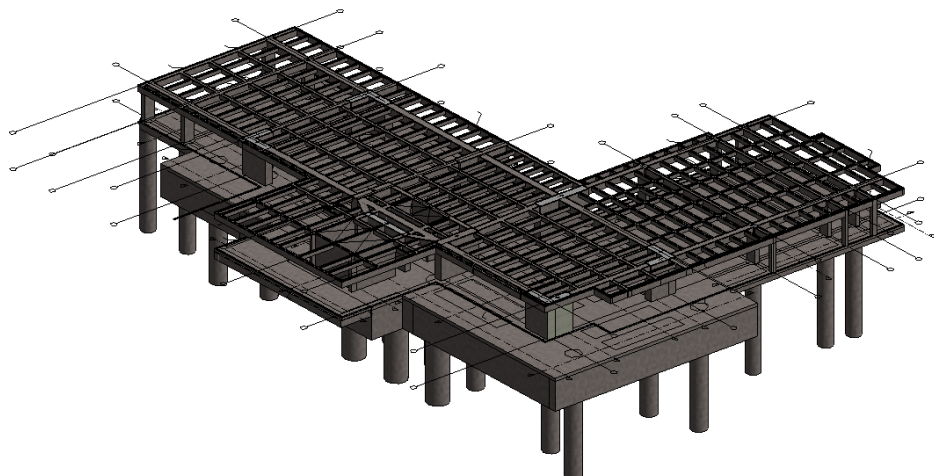
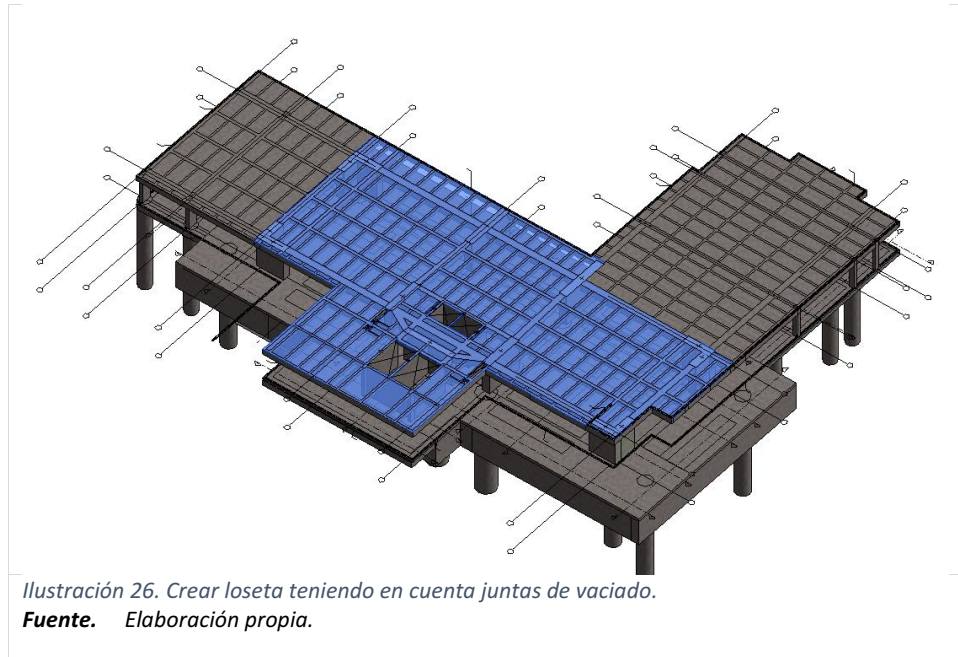


Ilustración 25. Insertar columnas según los tipos y niveles (2).

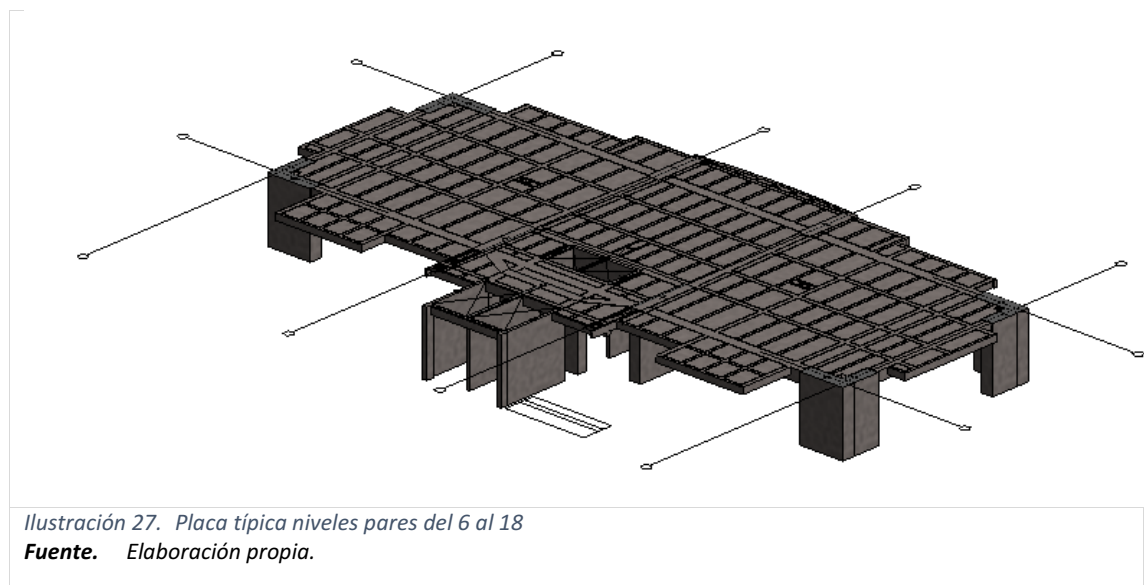
Fuente. Elaboración propia.

Luego de tener las vigas creadas e insertadas, se construyen las losetas, fue muy importante considerar que desde el modelo se tuvieran en cuenta las juntas del vaciado porque cuando se realizó el modelo 4D éstas se pudieron seleccionar para vincularlas a las actividades tal cual se planeó los vaciados.

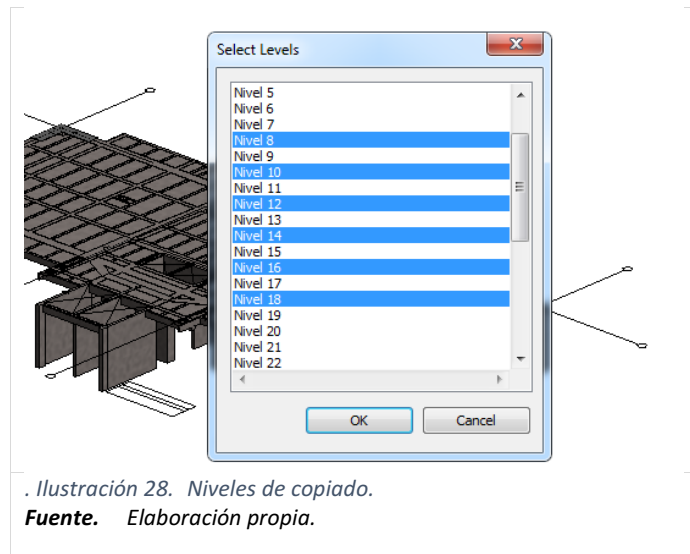


DUPLICAR NIVELES IGUALES

Una vez creadas cada una de las placas y columnas según su tipo se identificaron en que niveles se repetían exactamente, y se duplicaron vinculándolas a cada uno de los niveles.



Cuando se tienen identificados los elementos que se repiten se copian en los diferentes niveles y de este modo se logra optimizar tiempos de modelación.



MODELO 3D ESTRUCTURAL PARAMÉTRICO

Con la metodología realizada se logró un modelo de la estructura tal cual se diseñó, involucrando sus especificaciones y ubicación de cada elemento. Al ser un modelo paramétrico permitió una visualización en realidad virtual de los elementos y al mismo tiempo una adquisición de datos instantánea en cuanto a las especificaciones técnicas y cantidades.

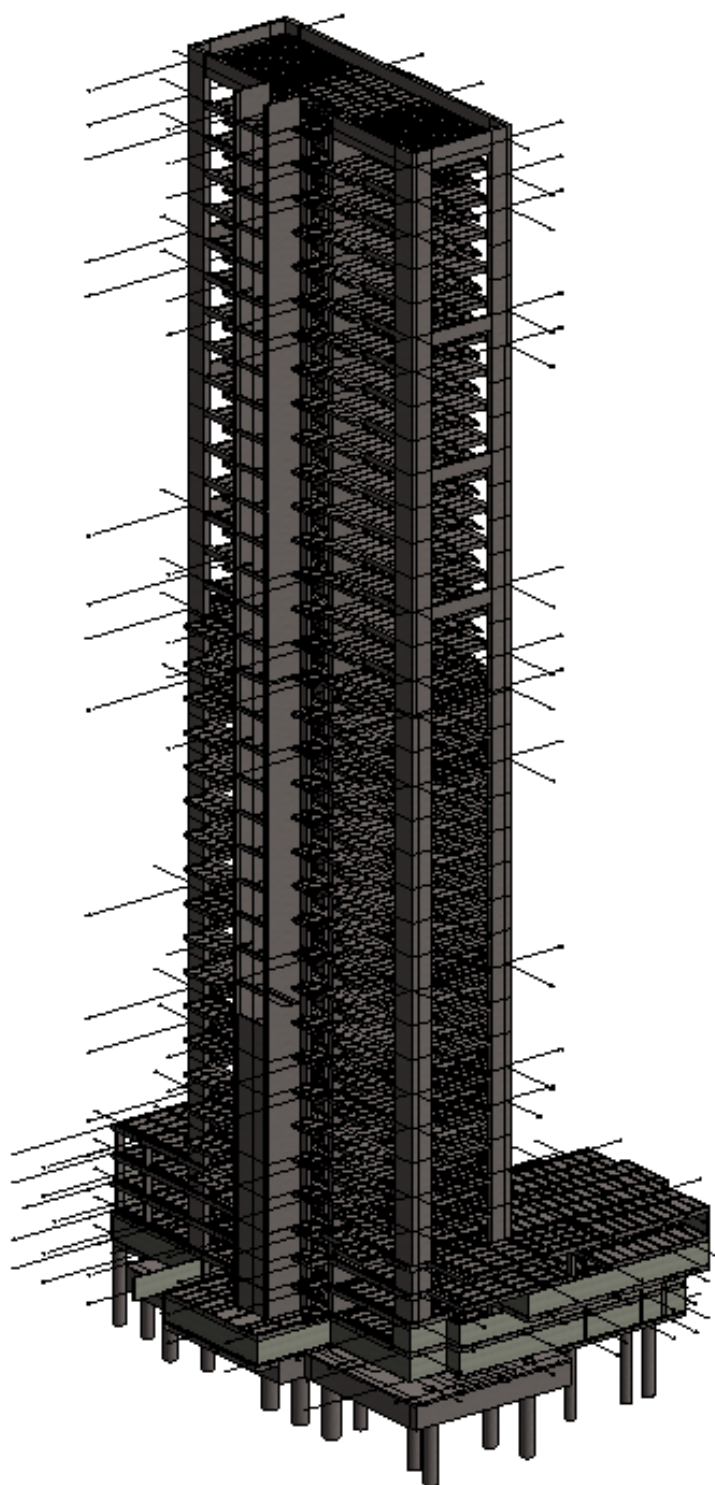


Ilustración 29. Modelo 3D estructural.

Fuente. *Elaboración propia.*

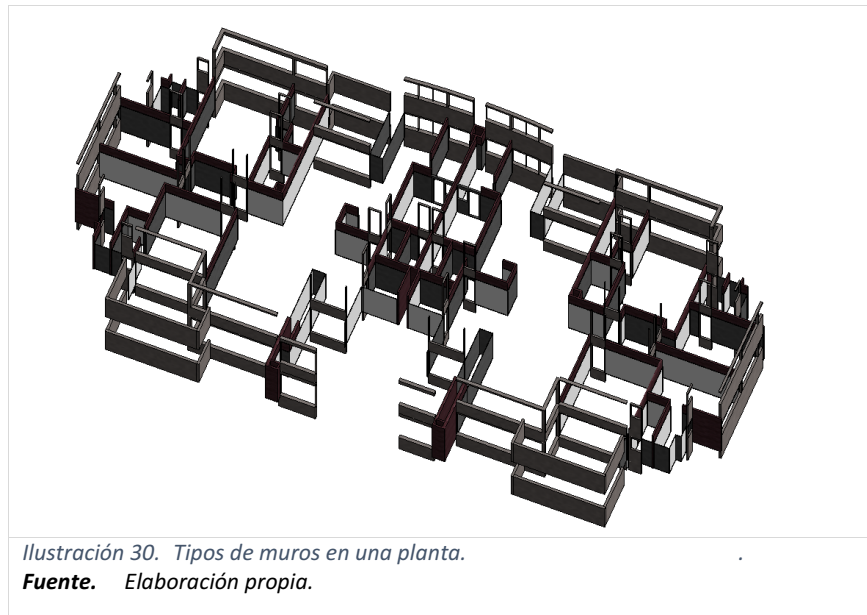
Con el modelo realizado y depurado se logró un control de las cantidades reales de cada elemento apoyando en la fase de planificación al profesional encargado de la elaboración del presupuesto y en la fase constructiva al director de obra.

5.4.3 Modelo 3D arquitectónico

Para realizar el modelo arquitectónico en 3D se decidió hacer un modelo independiente para simular la forma de trabajo colaborativo que según la teoría es la forma ideal como se deben trabajar los modelos BIM para poder cumplir su función desde el punto de vista de la gestión de proyectos. Dicho modelo arquitectónico fue realizado por un estudiante de ingeniería civil integrante del semillero de investigación de Gestión de la construcción con la capacitación y supervisión del estudiante de maestría que desarrolla el proyecto.

MAMPOSTERÍA

Se identificaron en el diseño arquitectónico, varios tipos de muros y varias distribuciones de los apartamentos, por el alto estrato del edificio, por lo que fue necesaria la creación de algunas familias de muros que no venían pre-definidas en el software.

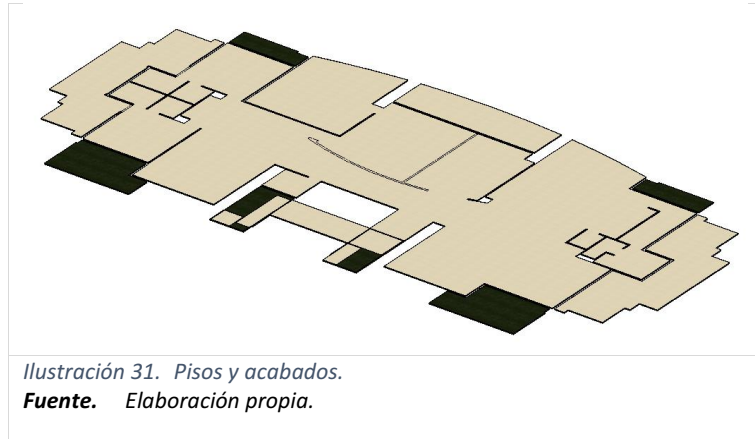


Aunque el software permite realizar los muros con sus acabados en capas (revoque, estuco y pintura) se decidió hacer cada una de estas capas independientemente para que los cuadros de cantidades se individualizaran y en el evento que se quisiera incluir en el modelo 4D la construcción de la obra gris, se pudiera visualizar tal cual se programó.

Dentro de los tipos de muros que encontramos en la arquitectura están: muros en concreto prefabricado, muros en mampostería tradicional, con revoque seco, muros en bloque de concreto, muros en mampostería tradicional con alucobond, antepechos y cuelgas prefabricados en concreto.

MORTEROS Y PISOS

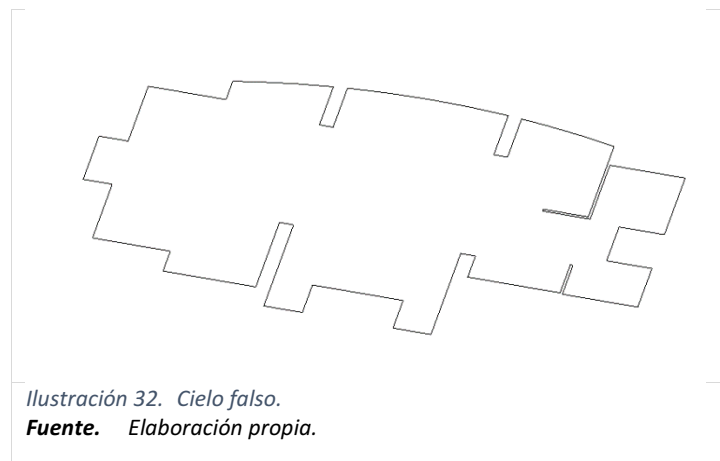
Aunque para los pisos el software también ofrece la posibilidad de hacer en un mismo piso todas la capas que requiere (Mortero y acabado) se decidió hacer cada una de estas capas independientes por el mismo motivo de los muros y su acabado.



Dentro del diseño arquitectónico se encontraron varios tipos de acabados en los usos de los apartamentos, pero debido a que en este estrato la reformas son muy personalizadas y en el momento que se realizó este proyecto no se habían definido, se decidió usar un solo acabado en los pisos interiores y se respetaron los planteamientos del arquitecto en las zonas comunes. Dentro de los tipos de pisos realizados se tenían: morteros de 7cm, pisos en mármol y grama.

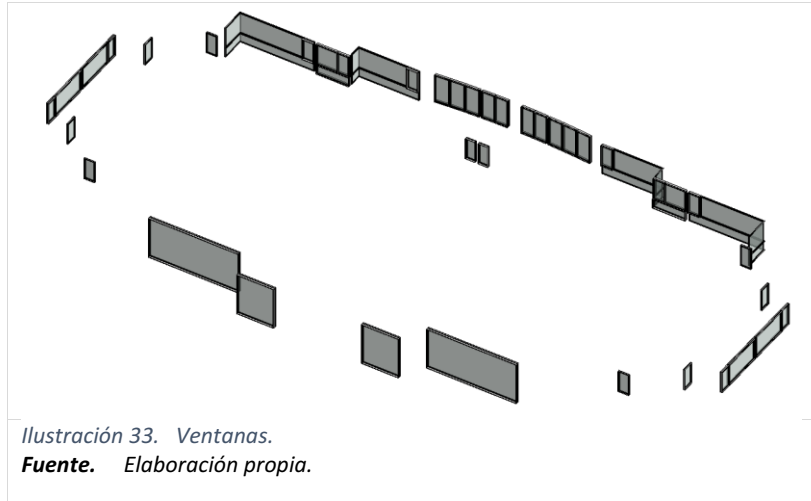
CIELO FALSO

En las zonas especificadas con cielo en Drywall se ubicó una capa de cielo falso al nivel de acabado respetando 3m libres entre el acabado del piso y el acabado del cielo. Para esto no se crearon nuevos niveles, sino que se desfasó la ubicación con la especificación del plano arquitectónico.



VENTANEARÍA

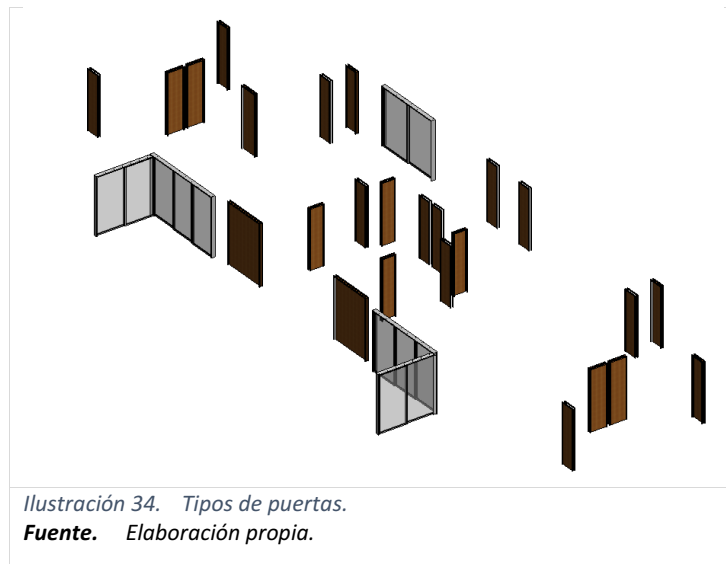
Como en este proyecto la arquitectura es no convencional, fue necesario crear familias de ventanas nuevas ya que las predefinidas no se ajustaban a la especificación del arquitecto.



Las ventanas creadas fueron moduladas tal cual está especificado en los planos arquitectónicos.

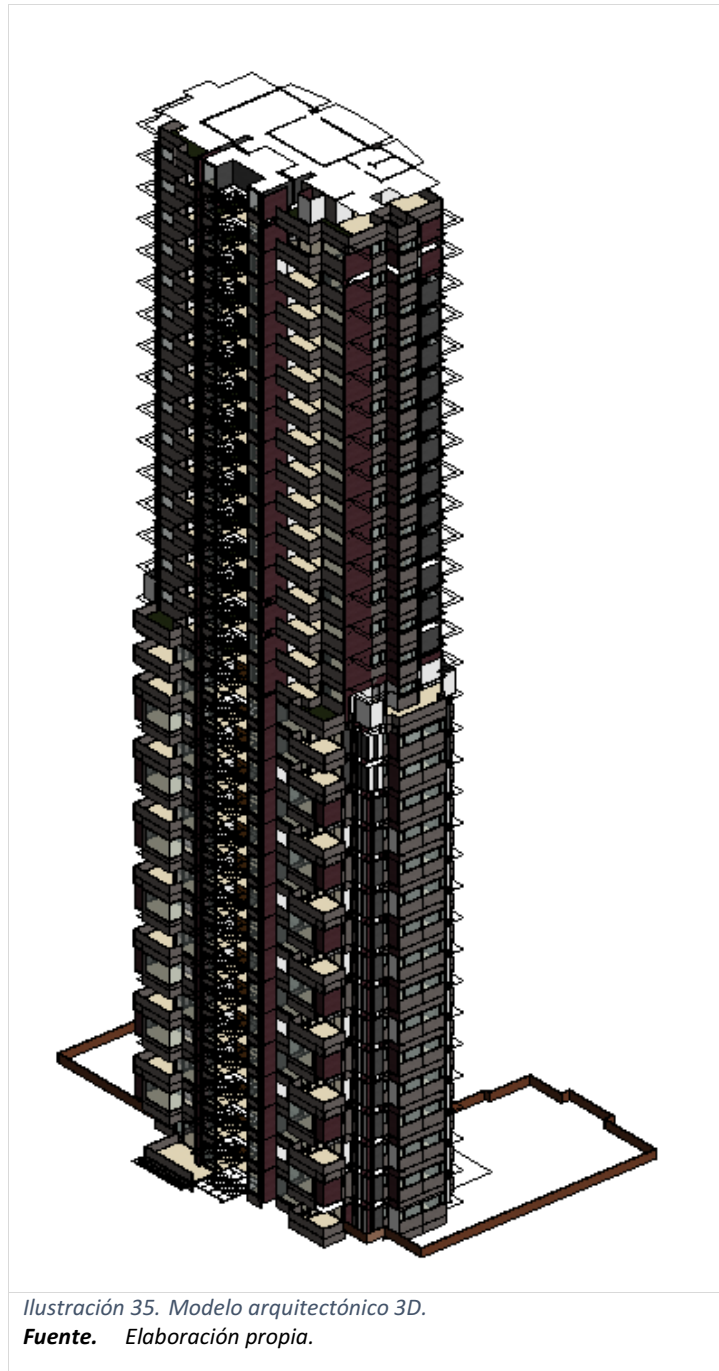
PUERTAS

Se crearon, dispusieron y modularon cada uno de los tipos de puertas con el fin de incluir en las cantidades cada una de las puertas necesarias discriminadas según su especificación.



MODELO ARQUITECTÓNICO 3D

Una vez establecidos cada uno de los materiales, elementos y especificaciones se crearon cada uno de los apartamentos según su distribución y se dispusieron en cada una de las plantas. Luego como se realizó en el modelo estructural se duplicaron los niveles que eran exactamente iguales y de esta manera se obtuvo un modelo arquitectónico con los materiales descritos y aparte del modelo estructural.



5.4.4 Vinculación de modelos arquitectónicos y estructurales

Una vez contruidos los modelos arquitectónicos y estructurales, por aparte, se vincularon ambos en un mismo archivo, con el fin de encontrar que interferencias existían ellos, y poder visualizar la mejor manera de resolver estas situaciones antes de iniciar la construcción física del edificio.

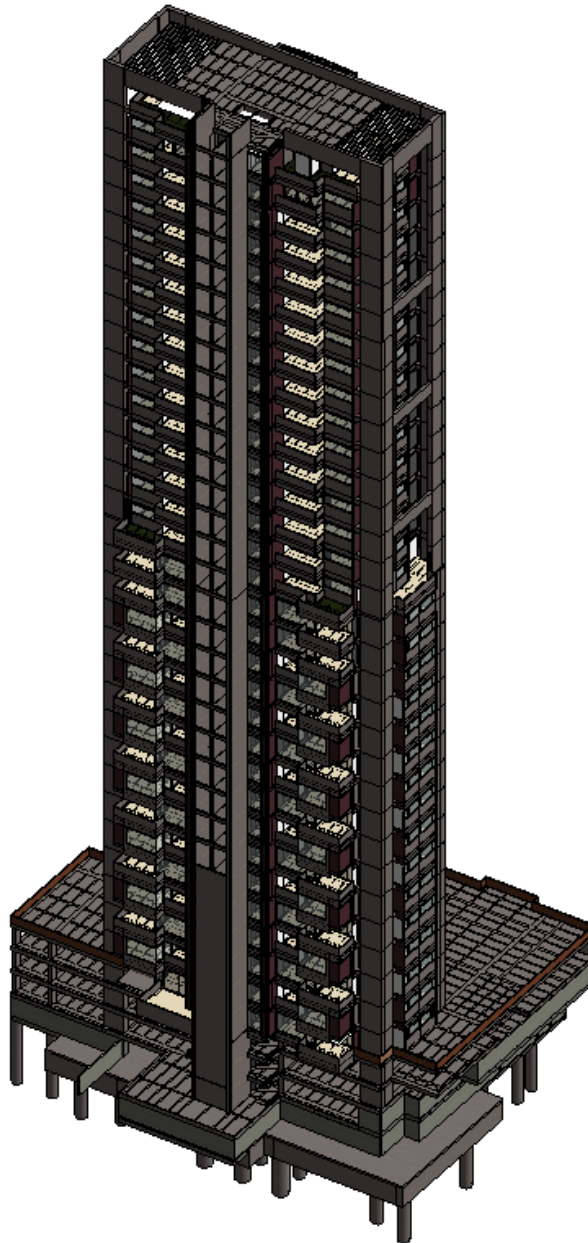


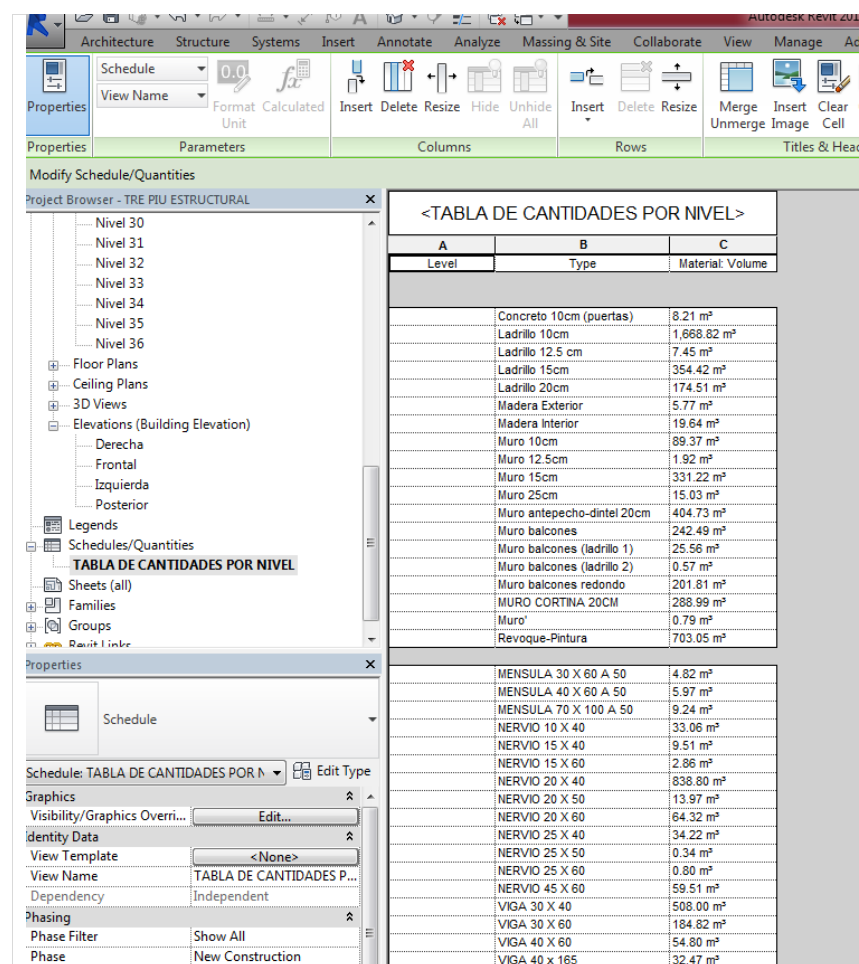
Ilustración 36. Modelo integrado 3D

Fuente. *Elaboración propia.*

El modelo que se observa en la ilustración anterior es el modelo depurado de las interferencias que se encontraron entre ambos diseños, y sólo en este momento fue útil para analizar las cantidades de obra y proceder con la elaboración del modelo 4D de la estructura, ya que si esto se hubiese hecho antes de depurar las interferencias se estaría analizando información que luego sufrirá modificaciones y probablemente fuese necesario repetir el trabajo realizado.

5.4.5 Cantidades de obra

Como se dijo anteriormente una vez depuradas las interferencias entre los diseños se decidió exportar las cantidades de obra parametrizadas en la modelación según las especificaciones de cada diseñador.



<TABLA DE CANTIDADES POR NIVEL>

A	B	C
Level	Type	Material: Volume
Nivel 30	Concreto 10cm (puertas)	8.21 m³
Nivel 31	Ladrillo 10cm	1,668.82 m³
Nivel 32	Ladrillo 12.5 cm	7.45 m³
Nivel 33	Ladrillo 15cm	354.42 m³
Nivel 34	Ladrillo 20cm	174.51 m³
Nivel 35	Madera Exterior	5.77 m³
Nivel 36	Madera Interior	19.64 m³
	Muro 10cm	89.37 m³
	Muro 12.5cm	1.92 m³
	Muro 15cm	331.22 m³
	Muro 25cm	15.03 m³
	Muro antepecho-dintel 20cm	404.73 m³
	Muro balcones	242.49 m³
	Muro balcones (ladrillo 1)	25.56 m³
	Muro balcones (ladrillo 2)	0.57 m³
	Muro balcones redondo	201.81 m³
	MURO CORTINA 20CM	288.99 m³
	Muro	0.79 m³
	Revoque-Pintura	703.05 m³
	MENSULA 30 X 60 A 50	4.82 m³
	MENSULA 40 X 60 A 50	5.97 m³
	MENSULA 70 X 100 A 50	9.24 m³
	NERVIO 10 X 40	33.06 m³
	NERVIO 15 X 40	9.51 m³
	NERVIO 15 X 60	2.86 m³
	NERVIO 20 X 40	838.80 m³
	NERVIO 20 X 50	13.97 m³
	NERVIO 20 X 60	64.32 m³
	NERVIO 25 X 40	34.22 m³
	NERVIO 25 X 50	0.34 m³
	NERVIO 25 X 60	0.80 m³
	NERVIO 45 X 60	59.51 m³
	VIGA 30 X 40	508.00 m³
	VIGA 30 X 60	184.82 m³
	VIGA 40 X 60	54.80 m³
	VIGA 40 x 165	32.47 m³

Ilustración 37. Vista de cantidades desde Revit
Fuente. Elaboración propia.

Se encontraron algunas deficiencias del software para la discriminación del concreto de las vigas y de estuco y pintura por niveles, ya que no fue posible que los totalizara individuales.

En el Anexo G se puede ver la tabla de cantidades de obra arrojadas por el modelo 3D que se entregó a la interventoría discriminada por niveles para el control en obra.

5.4.6 Modelo 4D de la estructura

AJUSTE DE LA PROGRAMACIÓN DE OBRA

Para poder realizar el modelo 4D de la construcción de la estructura, fue necesario adaptar y reconstruir la programación de la obra suministrada por el constructor con el fin de que ésta se ajustara a cada uno de los elementos modelados en Revit, pero sin modificar las fechas de inicio y fin presupuestadas en la programación.

La programación base del proyecto fue realizada por una empresa externa al constructor y partió de la información de recursos suministrada por este, pero los rendimientos y el orden de construcción se asignaron con base en experiencias de proyectos anteriores.

En el Anexo H se muestra el resultado final del ajuste realizado en Microsoft Project 2013.

ASIGNACIÓN DE LA VARIABLE TIEMPO A LOS ELEMENTOS DEL MODELO 3D

En primer lugar se exportó el modelo 3D realizado en Revit a Navisworks, con el fin de involucrar la programación de la obra en los elementos del modelo estructural 3D.

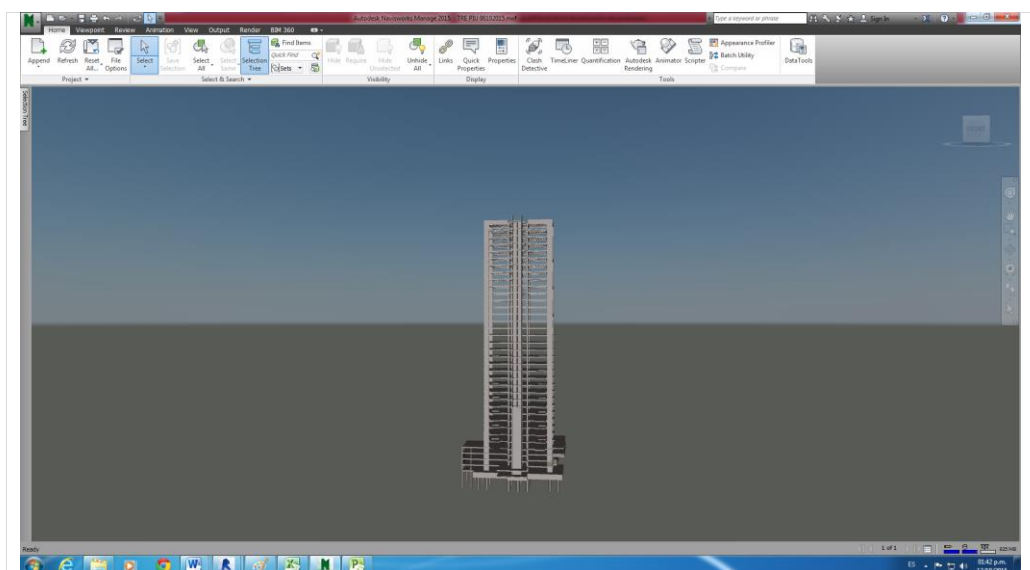


Ilustración 38. Modelo estructural 3D importado desde Navisworks.

Fuente. *Elaboración propia.*

Una vez visualizado el modelo 3D importado en el software Navisworks, se vinculó la programación de obra, al archivo para empezar a asignar las duraciones de las actividades a los elementos del modelo.

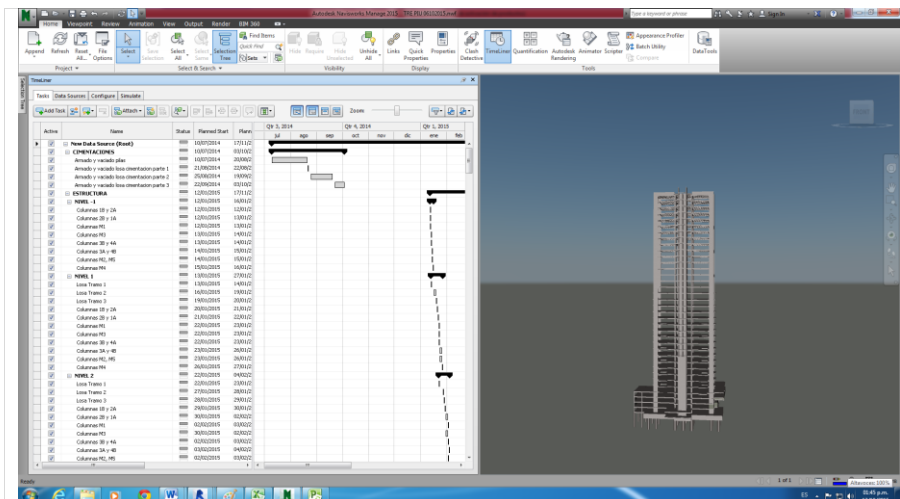


Ilustración 39. Archivo con la programación vinculada.

Fuente. Elaboración propia.

Debido a la gran cantidad de elementos en el modelo y a que cada actividad de la programación obedece a conjuntos de esos elementos, el software ofrece la posibilidad de crear conjuntos de selección, que de ahora en adelante se van a enunciar como “set de selección”, para realizar la vinculación de las duraciones de una manera ordenada y sin la posibilidad de repetir los mismos elementos en la misma actividad de la programación.

Para cada actividad relacionada en la programación de la obra fue necesario crear un set de selección, por lo que fue necesario crear un total de 447 sets de selección.

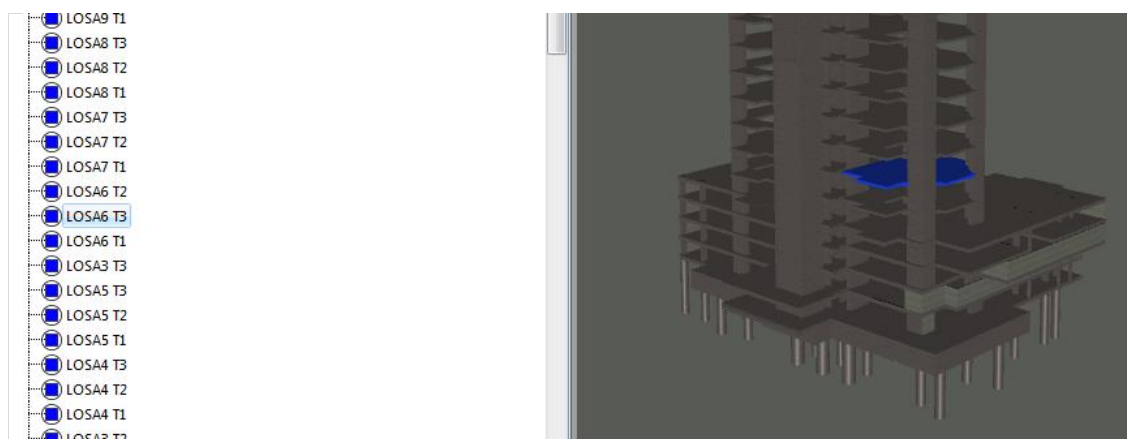


Ilustración 40. Sets de selección.

Fuente. Elaboración propia.

En la ilustración 40 se muestra cómo los sets de selección permiten agrupar varios elementos de manera ordenada para luego poder asignarles una actividad de la programación.

Una vez creados todos los sets de selección se asignó a cada uno de ellos a una actividad de la programación, para así lograr visualizar una simulación en realidad virtual de la programación de la construcción de la estructura del proyecto (ver ANEXO E “simulación de la programación”).

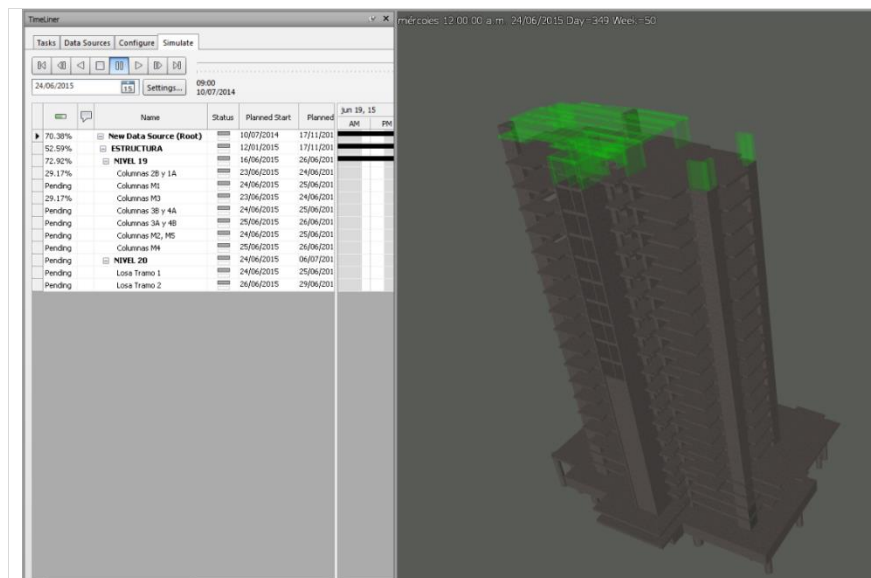


Ilustración 41. Simulación del proceso constructivo.

Fuente. Elaboración propia.

Esta simulación permitió ver en realidad virtual, con una línea de tiempo, el porcentaje de ejecución en el que deben estar las actividades programadas y llevar un control de programación más gráfico con el fin de poder socializarlo de manera más fácil con el personal involucrado en el proyecto.

5.4.7 Sistema de monitoreo IP

Luego de realizar la simulación de la construcción de la estructura fue posible contar con toda la documentación de la planificación que involucraba la estructura del proyecto (diseños, presupuesto y programación). sin embargo, como en este proyecto se presentaron variables no convencionales, se decidió contrastar con una documentación ordenada de la obra mediante un sistema de monitoreo remoto, comparando toda esta documentación de la planeación con los desafíos reales a los que se somete el constructor para la ejecución de este tipo de obra y de esta forma establecer si es posible cumplir con lo planeado o qué medidas se deben adoptar para reprogramar la obra identificando los puntos críticos a mejorar.

HARDWARE NECESARIO

Con el fin de seleccionar los equipos más óptimos para las necesidades específicas del proyecto se realizó una búsqueda en el mercado local de la tecnología que se encontraba disponible y que cumpliera con los requerimientos técnicos necesarios para lograr el objetivo de realizar una documentación organizada y con buena imagen y al mismo tiempo se adaptara lo mejor posible a los recursos propios de la torre.

A continuación se describen las necesidades básicas que debe suplir el equipo a utilizar:

- La cámara debe tener un zoom que logre identificar detalles como cantidad de acero, números en los cascos del personal en obra, elementos de seguridad industrial y hasta el rostro de los individuos de obra, a una distancia de 50m.
- La cámara debe tener la posibilidad de poderse manipular desde cualquier dispositivo con acceso a internet en sus funciones de zoom y de movimiento en 360 grados en el plano horizontal y 180 grados en el plano vertical.
- La cámara debe soportar la intemperie.
- El sistema de almacenaje en el servidor debe poder grabar hasta dos semanas de video de alta definición.
- La velocidad del internet local, debe tener la capacidad de transmitir a la web el video en vivo en alta definición.

Con estas necesidades establecidas se encontraron los siguientes equipos que las satisficían y se realizó el siguiente cuadro comparativo para la escogencia del equipo a utilizar.

Tabla 9. Cuadro comparativo de equipos para monitoreo IP.

CÁMARA	ZOOM	TRANSMISIÓN DE IMAGEN	REQUIERE DVR	VALOR
Domo PTZ AGM 807-36X	36X	Con cable UTP hasta el DVR	Si	\$ 3,290,000.00
Domo AGM-IP200PTZ	20X	Inalámbrico	No	\$ 4,600,000.00
Domo Samsung SNP-6321H	32X	Inalámbrico	No	\$ 4,953,000.00
Domo Samsung SNP 6320	32X	Con cable UTP hasta el DVR	Si	\$ 2,687,000.00

Fuente. Elaboración propia.

Debido a que la cámara deberá subir aproximadamente 150m de altura se verificó con la empresa proveedora de internet, si el funcionamiento de un enrutador a esta distancia era confiable, a cual se respondió que no era viable usar una cámara inalámbrica a tal distancia ya que se requería una infraestructura muy especializada. Por tal motivo se descartó la posibilidad de usar cámaras con transmisión de datos inalámbrica y era necesario usar cableado UTP hasta conectarlo con un DVR y desde el DVR transmitir la imagen a la WEB.

La cámara que se seleccionó para el sistema de monitoreo fue el domo PTZ AGM 807-36X debido a que tenía un zoom superior y esta variable se ponderó más importante debido a que se buscaba tener un control de datos con alta fidelidad para el control de calidad de la obra.

Para el buen funcionamiento de la cámara según las necesidades del proyecto fue necesario además adquirir los siguientes equipos:

- DVR 4CH 120 FPS WD1 HDMI/VGA H.264, FRONTAL,4 SALIDAS ALARMA: equipo encargado de digitalizar y grabar las imágenes que llegan desde las cámaras, además de la grabación, permiten mediante un software provisto por el fabricante, administrar en una pantalla las diferentes cámaras que estén conectadas a él, elegir que o cuales cámaras ver a la vez, agrandar o achicar los tamaños de las imágenes, mover las cámaras, programar horarios de grabación, programar grabación por detección de movimiento, y configurar la calidad de las imágenes. Este equipo cuenta además con la posibilidad de acceso remoto, es decir, que se pueden ver las cámaras de seguridad desde una computadora conectada la red local, desde una computadora en otro lugar físico a través de Internet o desde cualquier dispositivo móvil.
- DISCO DURO 1 TERA: con la calidad de imagen más alta que ofrece la cámara escogida (resolución 1920x1080) este equipo es capaz de almacenar hasta 23 días continuos de video.
- UPS 1000 VATIOS: Este equipo es una fuente de energía eléctrica que suministra o abastece a los equipos que se conecten a él, contiene una batería que seguirá proveyendo electricidad en el caso que haya un corte de luz o un problema eléctrico en la infraestructura. Por su capacidad y según el consumo del DVR y la cámara escogidos, es capaz de proveer energía hasta 30 minutos después de que se realizó el corte de energía.

INSTALACIÓN DEL HARDWARE

Para la instalación de la cámara y los demás equipos necesarios para su correcto funcionamiento se trabajó con la premisa de utilizar en lo que más se pudiera, la infraestructura y los equipos propios de la torre, por este motivo se definió que el lugar más adecuado para ubicar la cámara debía ser la torre grúa, ya que esta siempre va a estar por encima de la última placa fundida y logra visualizar en su totalidad la construcción de todos los elementos de la estructura.



Ilustración 42. Proceso de instalación de la cámara.

Fuente. *Elaboración propia.*

Para la instalación de la cámara fue necesario contar con personal certificado para trabajar en alturas, y para esta actividad fue necesario seleccionar un día en el que no hubiera actividades programadas con la torre grúa, ya que esta debía de permanecer estática durante el proceso de instalación.

Se requirieron además 350m de cable UTP para intemperie de 6 filamentos 100% cobre, 350m de cable encauchetado 3x18, un breaker de 15 Amperios, una caja intemperie Dexon IP65, y un convertidor UTP a 2 filamentos.

Tanto el DVR como la UPS se instalaron en la oficina de la interventoría del proyecto y se conectaron a la computadora del supervisor técnico, para de ahí transmitir la imagen a la red pública y de esta manera poder acceder en tiempo real a la imagen desde cualquier punto con servicio de internet.

SOFTWARE DE MONITOREO

De acuerdo con lo escrito anteriormente el software IDEO se usó para el monitoreo remoto del proceso constructivo en la estructura, pero para poder usarlo adecuadamente fue necesario realizar unas actividades en la obra previas al monitoreo.

El software ofrece la posibilidad de monitorear el personal como medio para determinar cómo afectan los individuos a la productividad los procesos constructivos, y para este fin fue necesario darle una identificación a cada uno de los obreros que participan en el proceso constructivo de la estructura y socializar con ellos lo que se buscaba lograr con este método de monitoreo.



Ilustración 43. Asignación de identificación y firma de consentimiento.

Fuente. *Elaboración propia.*

En la ilustración anterior se observa como la supervisora de obra le hizo entrega a cada uno de los trabajadores encargados de la construcción de la estructura un consentimiento donde ellos autorizaron ser monitoreados mediante el uso de una identificación numérica dispuesta en el casco.



Ilustración 44. Casco con identificación asignada.

Fuente. *Elaboración propia.*

Tabla 10. Listado de trabajadores con número de identificación asignado.



Ilustración 45. Cuadrilla con numeración asignada.

Fuente. Elaboración propia.

CUADRILLA DE FIERREROS			
CARGO	NOMBRE	CEDULA	# CASCO
ENCARGADO	JESUS ADONI HURTADO MOSQUERA	98766296	8
AYUDANTE ENTENDIDO	WILLIAM DE JESUS CASTAÑEDA CARDENAS	71228129	6
OFICIAL	LUIS AMANCIO MENA SERNA	4814587	15
AYUDANTE	SEBASTIAN AGUILAR MOSQUERA	1152696019	32
OFICIAL	JUAN ESTIWAR MURILLO RENGIFO	76047545	13
OFICIAL	JOSE ELIECER ALZATE ECHAVARRIA	8126036	17
AYUDANTE	JUAN PABLO MONTALVO	15684008	2
OFICIAL	BAYRON COPETE GUTIERREZ	1010080040	18
OFICIAL	JOSE EVER CORDOBA	11710420	16
OFICIAL	JUAN EMER NAGLES RENTERIA	10029584	12
OFICIAL	ROBINSO PALACIOS MOSQUERA	82351996	3
AYUDANTE	WAYNER MOSQUERA CORDOBA	1128434750	14
AYUDANTE	JHEINES ESPINISA MOSQUERA		11
OFICIAL	EMILSON FLOREZ MENA	71986433	22
CUADRILLA COLUMNEROS			
OFICIAL	CARLOS ALEXIS AGUILAR AGUILAR	11706364	27
AYUDANTE	DARIO NORBERTO ACEVEDO GOMEZ	1035864871	20
LIDER CUADRILLA	EUGENIO MURILLO GARCIA	82383136	

AYUDANTE	JANER FOLIACO CAMPO	1037468332	
OFICIAL	LUIS FERNANDO ROMERO ARGUMEDO	8324336	
AYUDANTE	SEBASTIAN ENRIQUE DIAZ CONTRERAS	1067283731	26
OFICIAL	JOSE WILBER PEREA PEREA	10051758	
AYUDANTE	JHOAN ANDRES ROJANO CORDERO	1040352409	
CUADRILLA DE PLATA			
LIDER PLANTA	ELKIN MORELO GONZALEZ	1001590610	1
AYUDANTE	TOMAS EDISON RODRIGUEZ M		21
AYUDANTE	GILBERTO RAMIREZ LOAIZA	1060268643	25
ASEO			
AYUDANTE	JORGE IVAN TORO		23
CUADRILLA ARMADORES			
LIDER CUADRILLA	JEISON DAVID PALACIOS PALACIOS	1017128144	
OFICIAL	JUAN AGUILAR	11636393	19
	DUBAN BARRIENTOS	1020416888	24
CUADRILLA PATIEROS			
	JHON FERNEY URANGO MEDANO	1027943321	10
	JAIME SERNA BENITEZ		5
	ELIECER LOZANO MENA	104502186	4
OTROS			
	JOSE ABELARDO LOPEZ VILLADA	70509932	7
	LUIS ALBERTO CHAVEZ	1028138434	9
	EMIR MENA GAMBOA	11805505	28
	VICTOR GUTIERREZ MOSQUERA	71767100	29
	HERNAN ALONSO ARCALAZ	71765333	30
	WILMAR MESA RAMIREZ	70003780	31
	SEBASTIAN AGUILAR	1152696019	32
	WILMAR ARLEY MENA	1000540236	33
	YOBANY ORTIZ	70478204	34
	JOSE WILBER	10051758	35
	JHOAN ROJANO CORDERO	1040352409	36
	FRANCISCO LUIS RAMIREZ VILLADA	71697430	37
	ILDER OQUENDO DURANGO	1037266222	38

Fuente. Elaboración propia.

Cada uno de ellos firmo el siguiente consentimiento (ver ANEXO F):



Medellín, 13 de Marzo de 2015

AUTORIZACION DE MONITOREO

Yo, _____ identificado con cedula de ciudadanía número, _____ y código de trabajador número _____, autorizo monitorear mis actividades laborales para fines académicos como uno de los objetivos del trabajo de grado llamado MODELACION 4D Y MONITOREO DE PRODUCTIVIDAD IP EN PROYECTOS DE CONSTRUCCION, en proceso de desarrollo por Gabriel Aguilar Lopera, supervisor técnico del proyecto CANTAGIRONE TRE PIU.

Atentamente,

CC:

Ilustración 46. Formato de consentimiento de monitoreo al personal.

Fuente. *Elaboración propia.*

Con la información del personal de mano de obra ya diligenciada se alimentó la base de datos de IDEO con la información de los individuos y del proyecto para poder hacer el monitoreo de las actividades con toda la información necesaria.

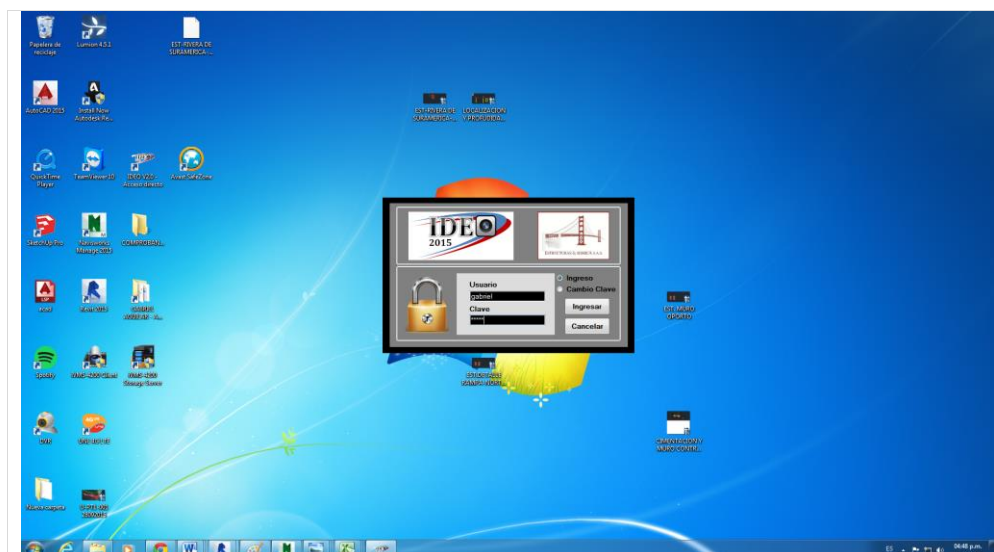


Ilustración 47. Pantalla de inicio de IDEO.

Fuente. Elaboración propia.

Ilustración 48. Ingreso de códigos del personal a IDEO.

Fuente. Elaboración propia.

Una vez todo lo anterior fue puesto en marcha se calibró la cámara y se configuró la imagen de la cámara en IDEO con el fin de establecer la compatibilidad de la imagen con el software y la calidad de la misma.



Ilustración 49. Imágenes de prueba desde la cámara.

Fuente. Elaboración propia.

Luego de identificar que la cámara estaba calibrada y cumplía con las necesidades del proyecto se inició el monitoreo remoto de las actividades que involucran la construcción de la estructura.

MONITOREO REMOTO DE ACTIVIDADES

Según lo analizado mediante reuniones sostenidas con el constructor, interventor y promotor del proyecto, se decidió monitorear las actividades de fundido de los elementos estructurales ya que no era práctico dedicar tiempo continuo de monitoreo a las actividades de armado de refuerzo y obra falsa porque el inicio y fin de las fundidas de concreto marcaba las actividades programadas y permitir perfectamente hacer el contraste de lo real con el modelo 4D.

Aun así aleatoriamente se realizaron monitoreos para llevar un control de calidad de los demás procesos diferentes a las fundidas, que más adelante se reportaran en los resultados obtenidos.

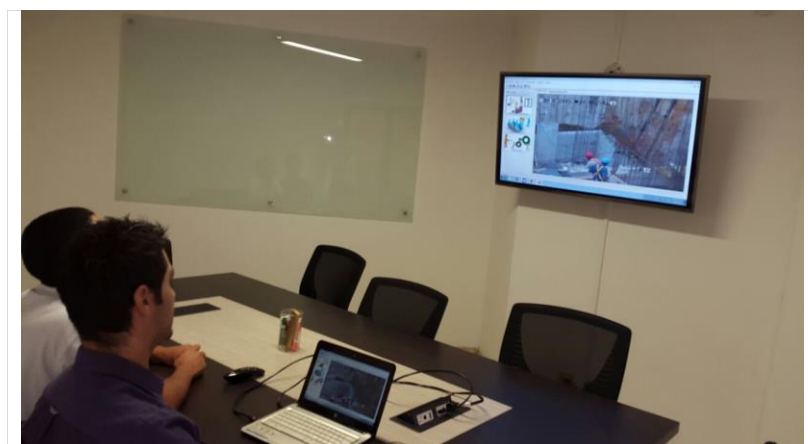


Ilustración 50. Monitoreo de actividades de fundida de placa.

Fuente. *Elaboración propia.*



Ilustración 51. Imagen exportada de IDEO en pleno monitoreo de fundida de placa.

Fuente. *Elaboración propia.*

Es importante anotar que por inconvenientes con la torre grúa y mientras se calibraba todo el sistema sólo fue posible iniciar los monitoreos el 30 de abril de 2015 e inició con la fundida de la placa del nivel 4.

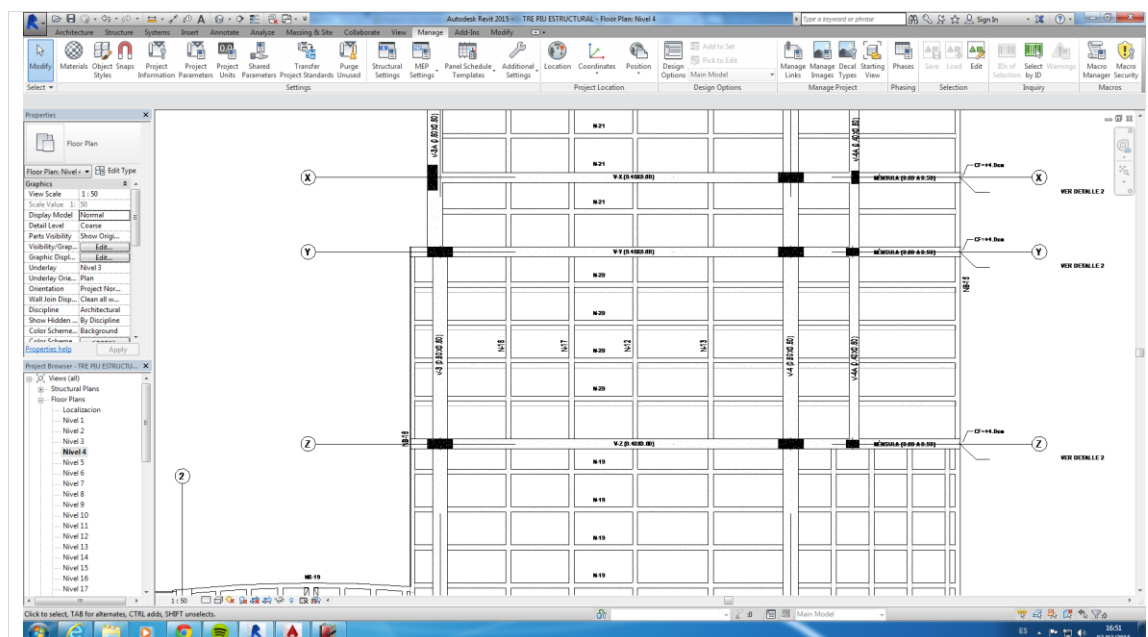
5.5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.5.1 Modelación 3D

En el proceso de modelación 3D del proyecto se identificaron algunas incompatibilidades entre los diseños que, de no haberse realizado oportunamente el modelo, luego se hubieran generado sobrecostos en la construcción. A continuación se enuncian los aspectos encontrados en la modelación:

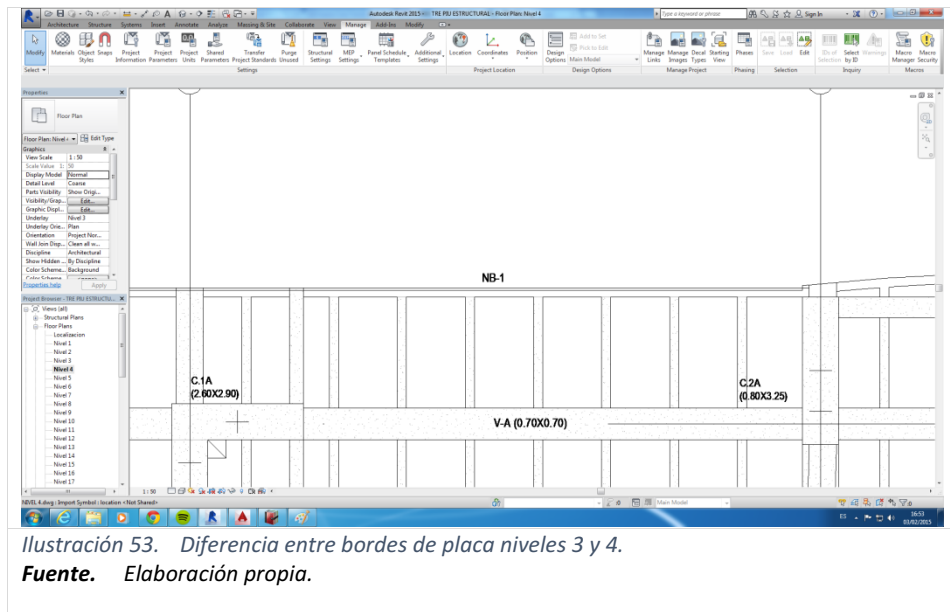
- Distribución de nervios: contrastando la distribución de los nervios entre los módulos de vigas que se repiten en las diferentes placas, se encontró que entre las placas 3 y 4, 20 y 21, 35 y cubierta, habían diferencias, lo cual hacía que los aligerantes de las placas típicas no sirvieran para estas.

Se realizó una estimación con el proveedor de poron de cuál sería el sobre costo por estos cambios en la distribución de los nervios y ellos según el contrato el valor asciende a \$1.500 por m² de poron no reutilizable lo cual se si suman las áreas de esas placas que presentaban esta situación serian 993 m², generaría un sobrecosto en el poron de \$1.489.500.



Luego de identificar esta situación se le solicitó al diseñador estructural que revisara el tema y este configuró los nervios de todos los módulos entre vigas del proyecto con la misma separación para no incurrir en sobrecostos o reprocesos en la instalación del poron.

- Diferencias en bordes de placa: Cuando se revisó el modelo estructural en 3D del proyecto se evidenció que entre las placas 3 y 4 existía una diferencia de 10cm entre los bordes de placa. Esta situación se revisó luego en el modelo arquitectónico y no estaba así.



Se encontró que esta situación fue provocada por que a pesar de que en los planos arquitectónicos los bordes de placa coincidían y mantenían el mismo plomo en los acabados de los 2 niveles, en los bordes de placa que el arquitecto entregó al diseñador estructural había esta diferencia por un cambio entre los materiales de fachada que luego decidieron mantener. Por tal motivo fue necesario actualizar el plano estructural para que el borde de placa coincidiera. Esta situación en obra hubiera causado una probable demolición del muro y una reparación del nervio de borde para que el plomo de la fachada se mantuviera en la altura.

- Cuelgas y uniones de muros desfasados: debido a que este edificio tiene especificados unos elementos prefabricados en concreto que servirán de balcones y cuelgas, es necesaria una precisión muy alta en las uniones de ellos con los muros de mampostería en la fachada, Se identificó en el modelo arquitectónico que si se respetan los espesores de muro como está indicado en los planos, habría un desfase de 2cm entre las uniones,

por tal motivo en los elementos prefabricados fue necesario dejar unas platinas que permitieran holguras de hasta 4 cm para darle un ajuste preciso en la fachada del edificio.

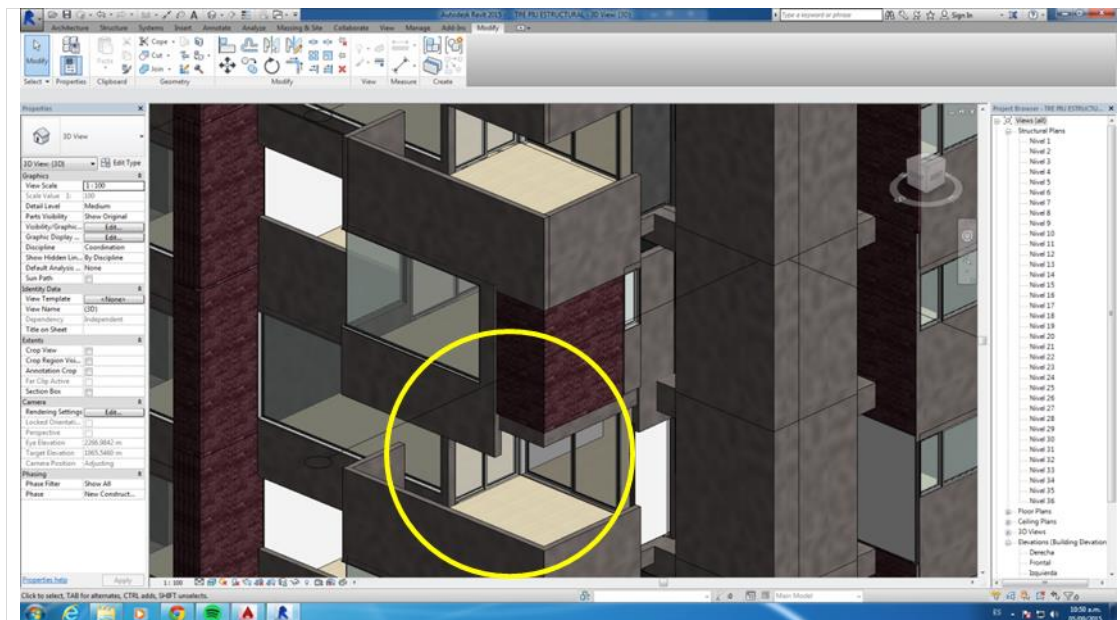


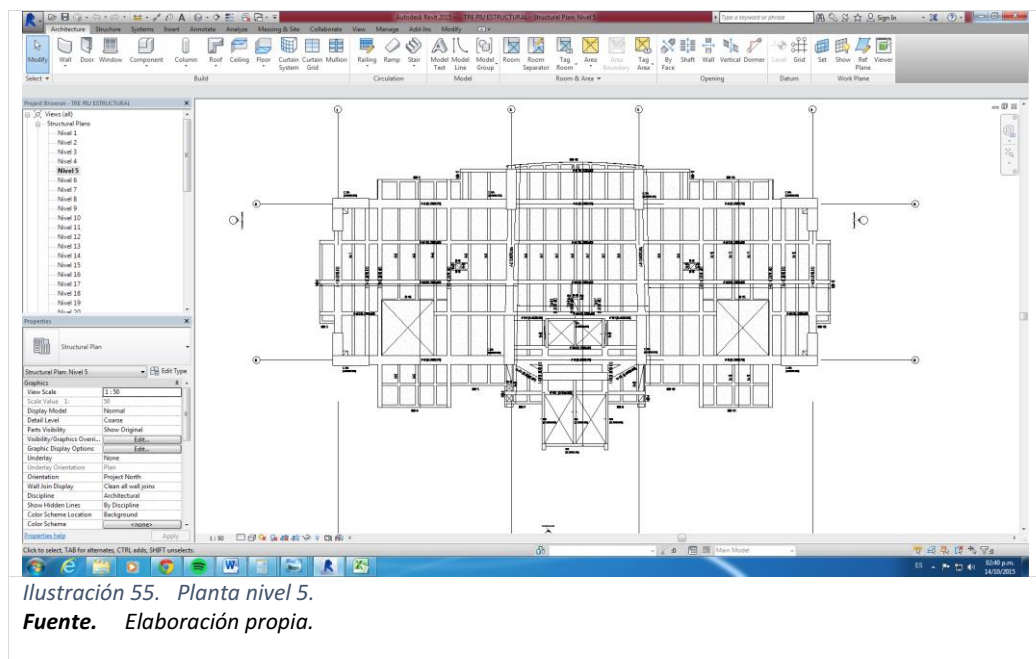
Ilustración 54. Desfase en ajuste de muros y prefabricados.

Fuente. Elaboración propia.

En caso de no haber evidenciado este tema antes de fabricar los elementos prefabricados hubiese sido necesario descartar el primer lote de producción y sus moldes.

Además de las interferencias encontradas entre los diseños, el modelo 3D también tuvo otros usos que se describen a continuación:

- Se usó en la fase de construcción, sirviendo como apoyo para la contratación de los elementos como ventanearía y puertas, debido a que fue necesario incluir en las especificaciones de los elementos a contratar la modulación, dimensiones y cantidades precisas para evitar desperdicios de elementos mal modulados y ejercer un mejor control de los procesos en la instalación.
- Debido a que el concreto usado en la estructura fue premezclado y a que se evidencio en los primeros fundidos errores en los pedidos del concreto (Altos desperdicios y en ocasiones cantidades menores a las requeridas) se decidió apoyar al constructor cubicando de manera precisa mediante el software los elementos programados para fundir con el fin de realizar los pedidos de manera precisa.



De los elementos especificados en cada planta se definían las juntas y se extraían los volúmenes exactos de los pedidos.

Tabla 11. Volúmenes de elementos para pedidos de concreto.

PLACAS 5,7,9		
ELEMENTO	RSISTENCIA	VOLUMEN
LOSETA 7 CM	4000 PSI	43.74 m ³
NERVIO 10 X 40	4000 PSI	1.23 m ³
NERVIO 15 X 40	4000 PSI	0.29 m ³
NERVIO 20 X 40	4000 PSI	20.18 m ³
NERVIO 25 X 40	4000 PSI	1.40 m ³
NERVIO 45 X 60	4000 PSI	2.39 m ³
VIGA 30 X 40	4000 PSI	17.51 m ³
VIGA 30 X 60	4000 PSI	5.29 m ³
VIGA 50 X 60	4000 PSI	1.30 m ³
VIGA 60 X 60	4000 PSI	12.75 m ³
VIGA 70 X 70	4000 PSI	28.19 m ³
TOTAL		134.27 m³

Fuente. Elaboración propia.



Ilustración 56. Zonas de disposición de desperdicios.

Fuente. Elaboración propia.

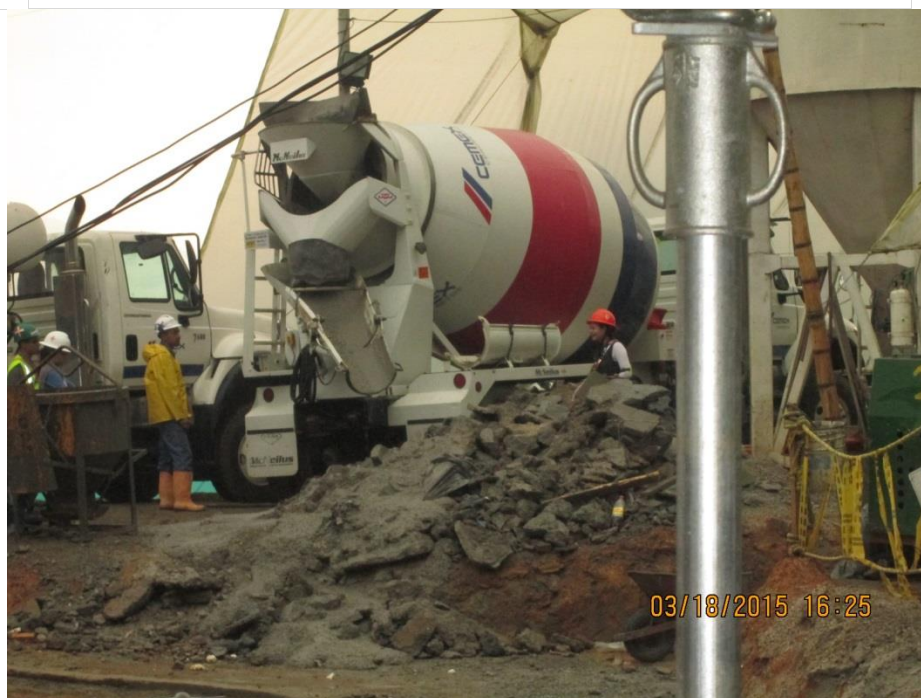


Ilustración 57. Mixer descargando concreto sobrante.

Fuente. Elaboración propia.

5.5.2 Informe de monitoreo

Durante la fase de prueba piloto del presente proyecto se alcanzaron a monitorear las actividades relacionadas con el proceso constructivo de la estructura desde el nivel 4 hasta el nivel 10. a continuación se describen los resultados obtenidos arrojados por el software IDEO.

CONTROL DE RENDIMIENTOS

COLUMNAS

A partir del monitoreo remoto realizado en el fundido de las columnas, IDEO arrojó los siguientes datos:

Tabla 12. Monitoreo de fundido de columnas.

MONITOREO DE FUNDIDO DE COLUMNAS					
ELEMENTO	FECHA	NIVEL	VOLUMEN (m3)	DURACION (hr)	RENDIMIENTO (m3/hr)
1A	04/05/2015	4	12.22	04:40	2.62
	22/05/2015	5	12.22	01:55	6.38
	02/06/2015	6	12.22	01:45	6.98
	12/06/2015	7	12.22	02:40	4.58
	02/07/2015	8	12.22	02:10	6.06
	14/07/2015	9	12.22	02:30	4.89
1B	05/05/2015	4	12.22	03:05	3.96
	22/05/2015	5	12.22	02:25	5.06
	30/05/2015	6	12.22	02:20	5.24
	11/06/2015	7	12.22	01:50	6.67
	02/07/2015	8	12.22	01:20	9.17
	15/07/2015	9	12.22	02:05	5.87
2A	05/05/2015	4	8.45	01:00	8.45
	19/05/2015	5	8.45	01:45	4.83
	30/05/2015	6	8.45	01:55	4.41
	11/06/2015	7	8.45	02:00	4.23
	30/06/2015	8	8.45	02:05	4.06
	14/07/2015	9	8.45	01:55	6.76
2B	04/05/2015	4	10.27	02:30	4.11
	19/05/2015	5	10.27	02:35	3.98
	01/06/2015	6	10.27	02:15	4.56
	12/06/2015	7	9.0025	01:10	7.72
	02/07/2015	8	9.0025	00:55	9.82
	15/07/2015	9	9.0025	01:20	6.75
3A	08/05/2015	4	8.45	02:00	4.23
	22/05/2015	5	8.45	01:30	5.63
	03/06/2015	6	8.45	02:45	3.07

	16/06/2015	7	8.45	01:55	4.41
	04/07/2015	8	8.45	01:50	4.61
	15/07/2015	9	8.45	01:20	8.45
3B	07/05/2015	4	10.27	01:45	5.87
	23/05/2015	5	10.27	01:00	10.27
	04/06/2015	6	10.27	03:00	3.42
	16/06/2015	7	9.0025	01:45	5.14
	04/07/2015	8	9.0025	01:15	7.20
	23/07/2015	9	9.0025	02:05	4.32
4A	11/05/2015	4	12.22	02:15	5.43
	27/05/2015	5	12.22	02:35	4.73
	09/06/2015	6	12.22	05:10	2.37
	20/06/2015	7	12.22	01:40	7.33
	08/07/2015	8	12.22	02:05	5.87
	25/07/2015	9	12.22	01:50	6.67
4B	12/05/2015	4	12.22	04:05	2.99
	28/05/2015	5	12.22	02:00	6.11
	05/06/2015	6	12.22	01:30	8.15
	18/06/2015	7	12.22	02:00	6.11
	08/07/2015	8	12.22	02:20	5.24
	16/07/2015	9	12.22	01:45	6.98
M1	07/05/2015	4	5.85	01:10	5.01
	23/05/2015	5	5.85	01:00	5.85
	03/06/2015	6	5.85	01:45	3.34
	18/06/2015	7	5.85	03:20	1.76
	04/07/2015	8	5.85	01:10	5.01
	18/07/2015	9	5.85	01:35	3.69
M2	15/05/2015	5	3.8315	01:30	2.55
	10/06/2015	6	3.8315	02:40	1.44
	20/06/2015	7	3.8315	03:00	1.28
	07/07/2015	8	3.8315	01:25	2.70
	23/07/2015	9	3.8315	01:25	2.70
M3 PARTE 1	08/05/2015	4	10.14	03:00	3.38
	25/05/2015	5	10.14	01:15	8.11
	05/06/2015	6	10.14	01:10	8.69
	19/06/2015	7	10.14	02:40	3.80
	06/07/2015	8	10.14	02:00	5.07
	18/07/2015	9	10.14	01:35	6.40
M3 PARTE 2	27/05/2015	4	2.0935	01:10	1.79
	13/06/2015	5	2.0935	02:30	0.84
	14/07/2015	6	2.0935	00:50	2.51
M4	30/04/2015	3	3.201	02:00	1.60
	12/05/2015	4	3.8315	01:30	2.55

	26/05/2015	5	3.8315	01:50	2.09
	06/06/2015	6	3.8315	01:20	2.87
	30/06/2015	7	3.8315	01:40	2.30
	14/07/2015	8	3.8315	01:20	2.87
	26/07/2015	9	3.8315	00:40	5.75
M5	19/05/2015	3	3.036	00:45	4.05
	10/06/2015	4	3.634	04:00	0.91
	30/06/2015	5	3.634	01:15	2.91
	22/07/2015	6	3.634	00:35	6.23

Fuente. Elaboración propia.

A partir de los datos documentados en el monitoreo remoto se obtiene el siguiente análisis de rendimientos:

Tabla 13. Análisis rendimientos.

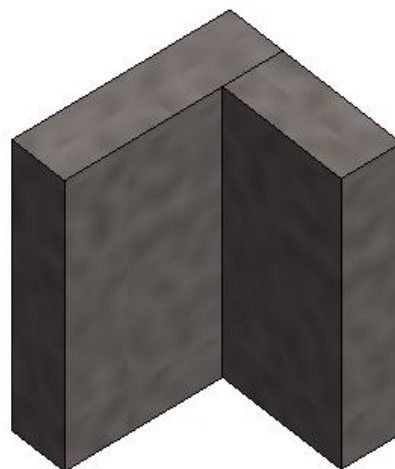
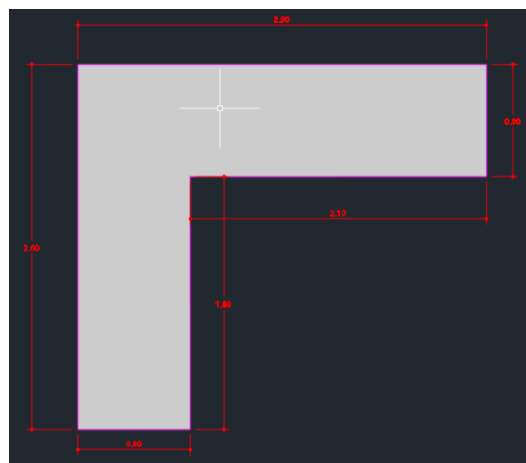
COLUMNA	ANÁLISIS RENDIMIENTOS		
	RENDIMIENTO PROMEDIO (m3/hr)	RANGO MAYOR DESVIACION ESTANDAR (m3/hr)	RANGO MENOS DESVIACION ESTANDAR (m3/hr)
1A	5.25	6.83	3.67
1B	5.99	7.79	4.20
2A	5.45	7.22	3.69
2B	6.16	8.51	3.80
3A	5.07	6.92	3.22
3B	6.04	8.48	3.59
4A	5.40	7.14	3.65
4B	5.93	7.67	4.19
M1	4.11	5.59	2.63
M2	2.14	2.85	1.42
M3 PARTE 1	5.91	8.12	3.70
M3 PARTE 2	1.71	2.55	0.87
M4	2.86	4.21	1.51
M5	3.52	5.75	1.30

Fuente. Elaboración propia.

Una vez adquirida la información de rendimiento se procesó mediante gráficos individuales por columnas con el fin de visualizar las curvas de aprendizaje y los rendimientos óptimos.

De las tablas 12 y 13 se obtienen los gráficos que se presentan a continuación.

COLUMNA 1A



Tomada del archivo EST DESPIECE DE COLUMNAS TRE PIU. Dwg

Tomada del archivo TRE PIU ESTRUCTURAL.rvt

Ilustración 58. Columna 1A

Fuente. Elaboración propia.

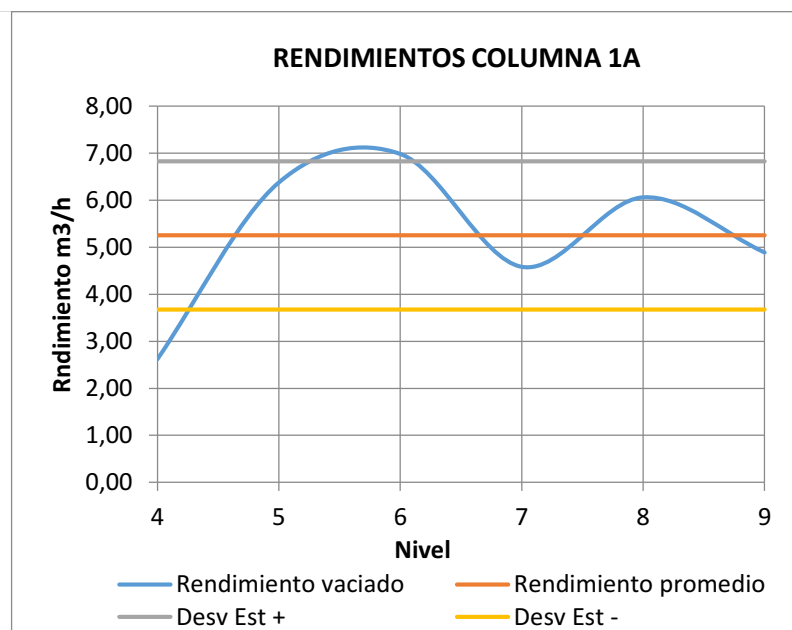
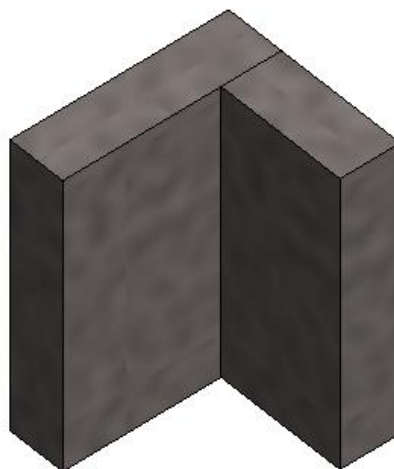
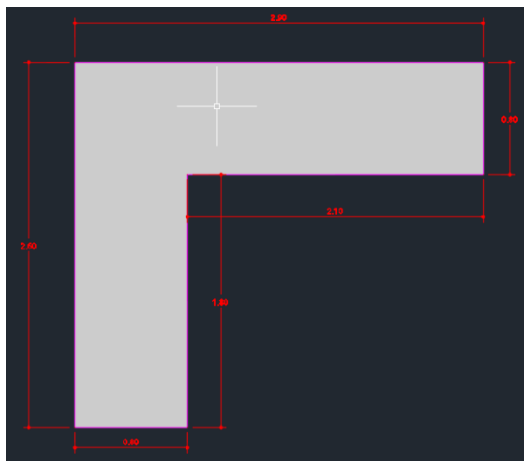


Ilustración 59. Rendimientos fundido columna 1A.

Fuente. Elaboración propia.

COLUMNA 1B



Tomada del archivo EST DESPIECE DE COLUMNAS TRE PIU. Dwg

Tomada del archivo TRE PIU ESTRUCTURAL.rvt

Ilustración 60. COLUMNA 1B

Fuente. Elaboración propia.

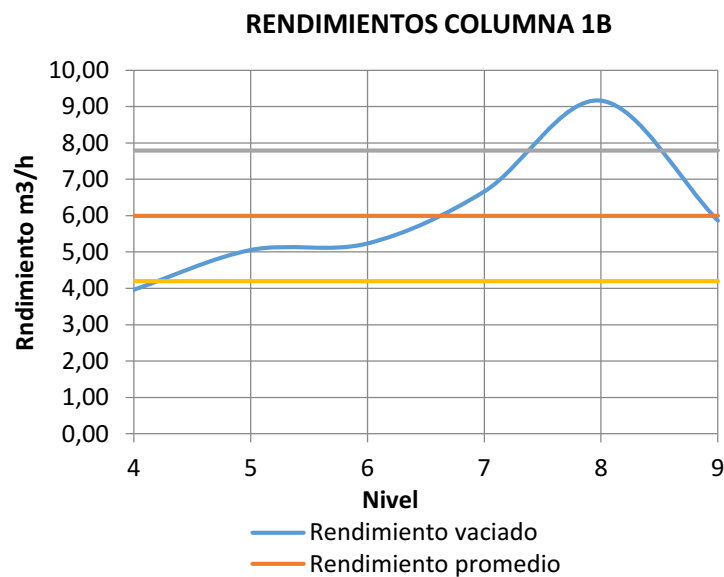
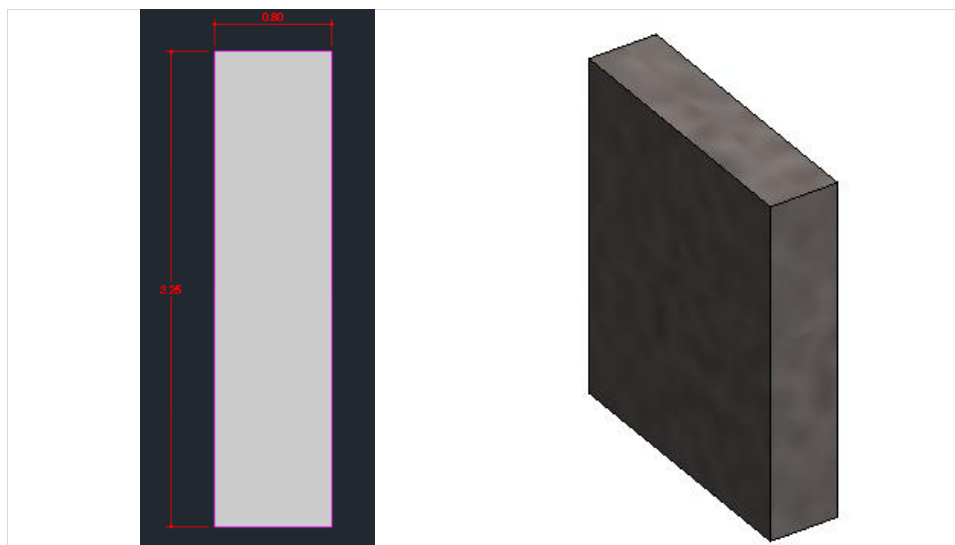


Ilustración 61. Rendimientos fundido columna 1B.

Fuente. Elaboración propia.

COLUMNA 2A



Tomada del archivo EST DESPIECE DE COLUMNAS TRE PIU. Dwg

Tomada del archivo TRE PIUSTRUCTURAL.rvt

Ilustración 62. COLUMNA 2A

Fuente. Elaboración propia.

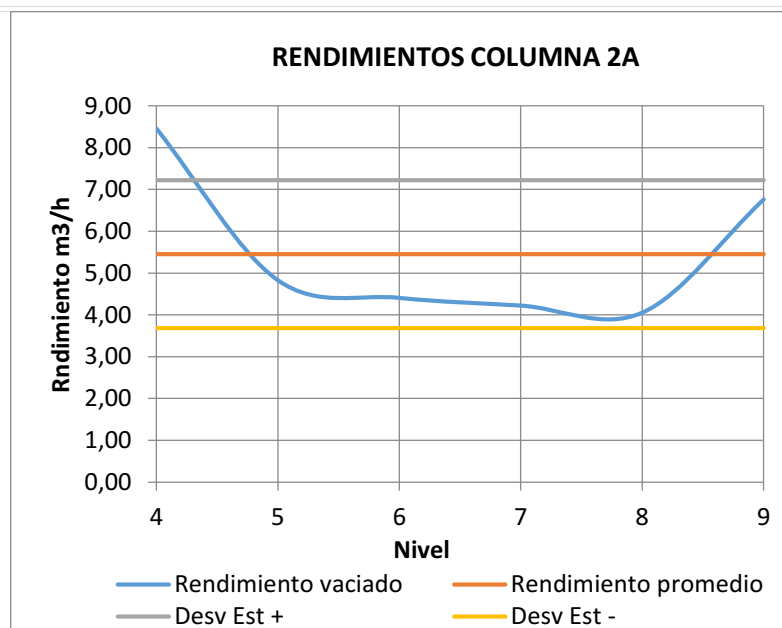
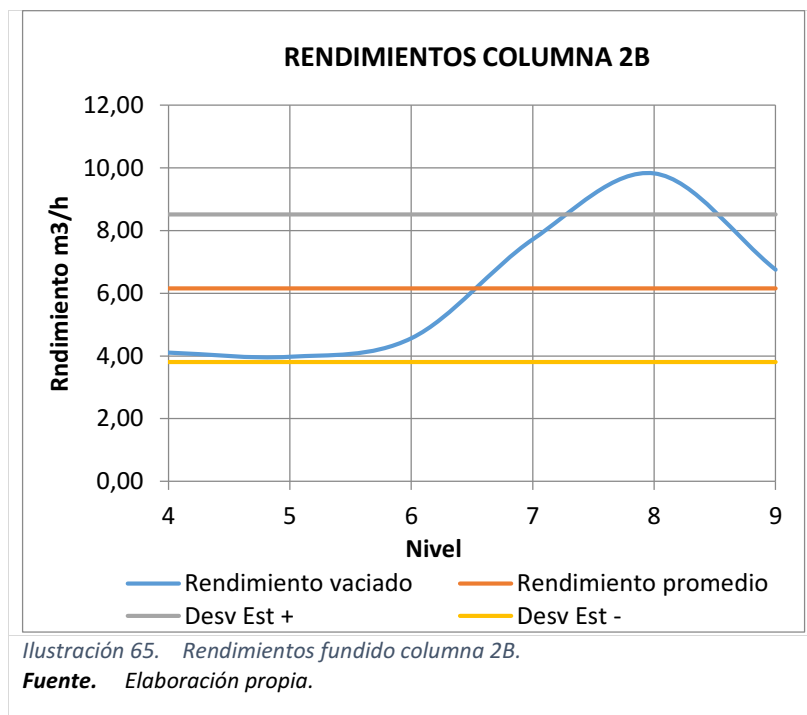
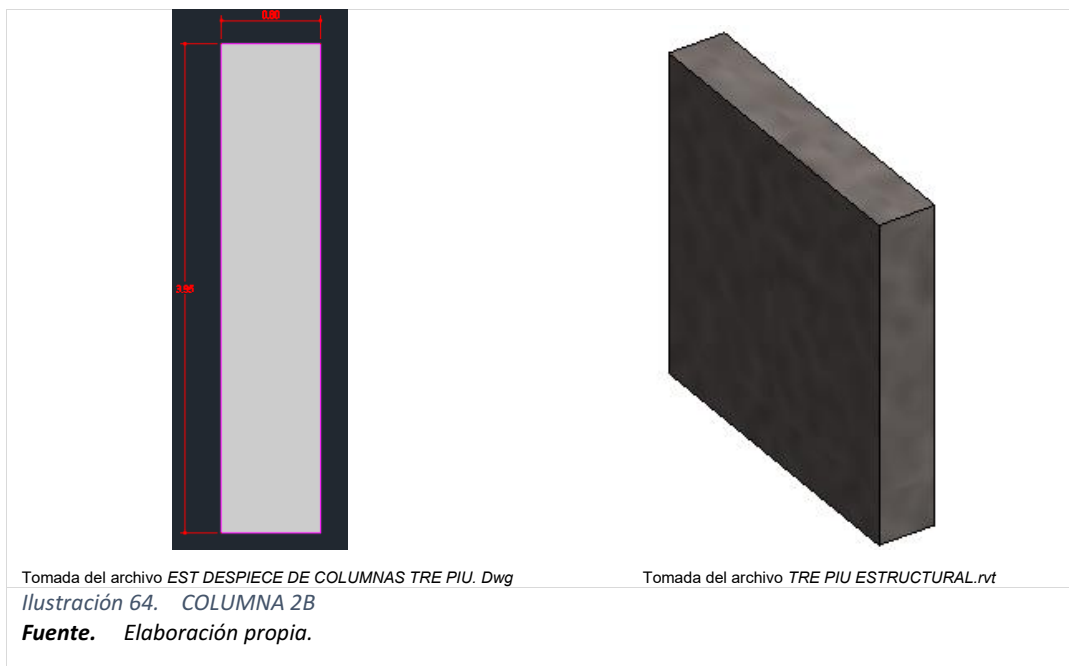


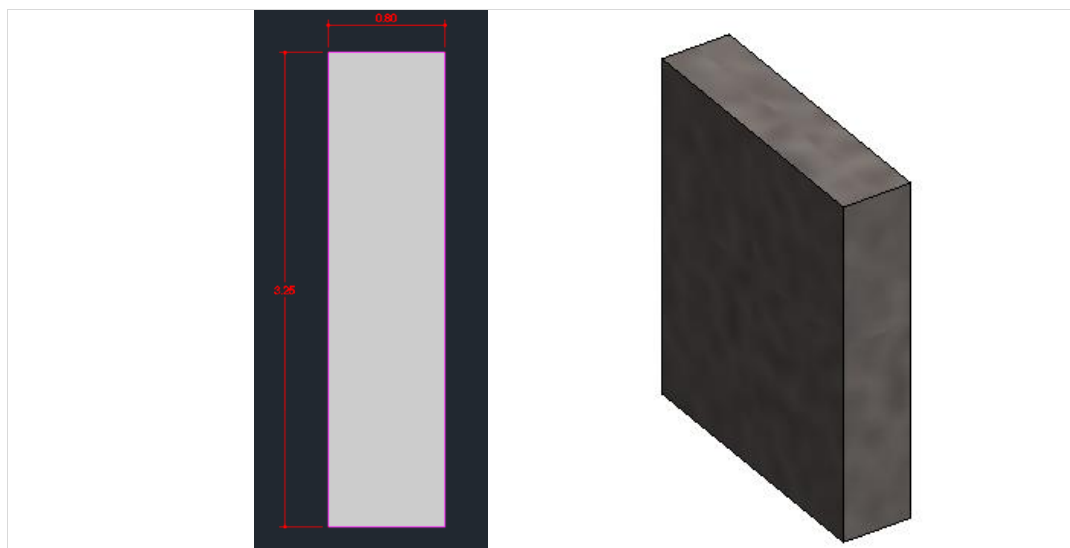
Ilustración 63. Rendimientos fundido columna 2A.

Fuente. Elaboración propia.

COLUMNA 2B



COLUMNA 3A

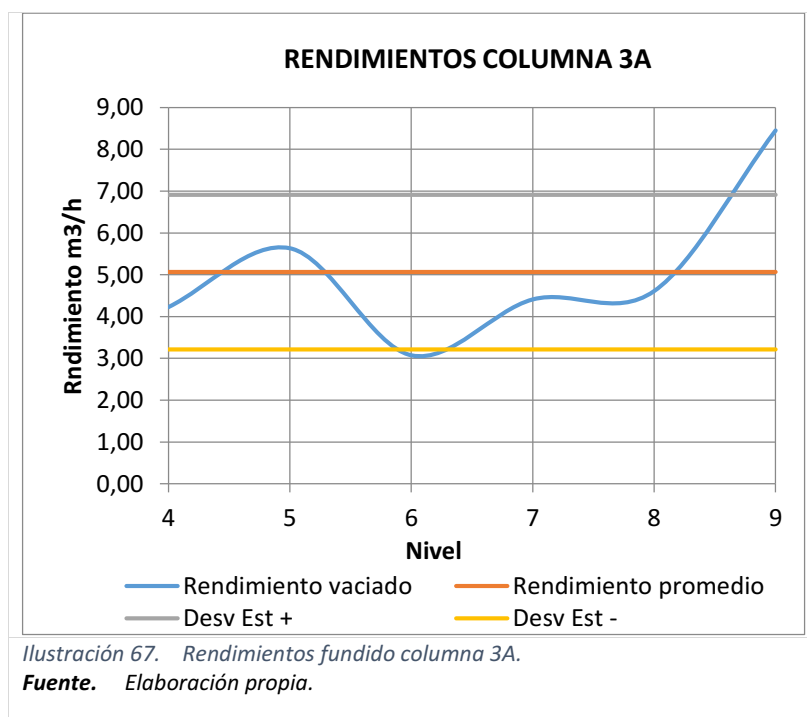


Tomada del archivo EST DESPIECE DE COLUMNAS TRE PIU. Dwg

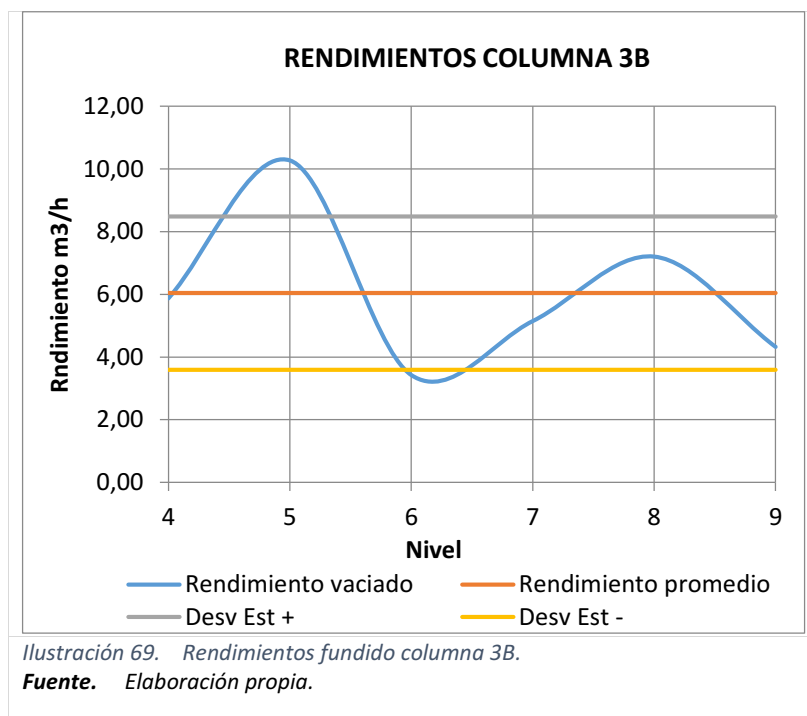
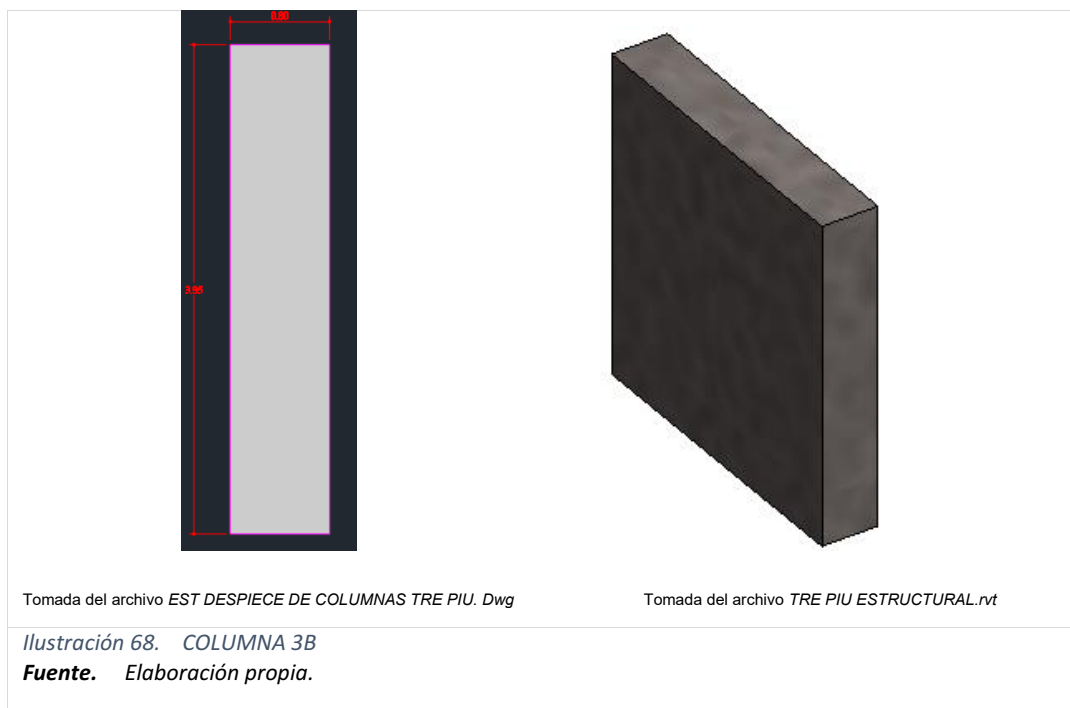
Tomada del archivo TRE PIU ESTRUCTURAL.rvt

Ilustración 66. COLUMNA 3A

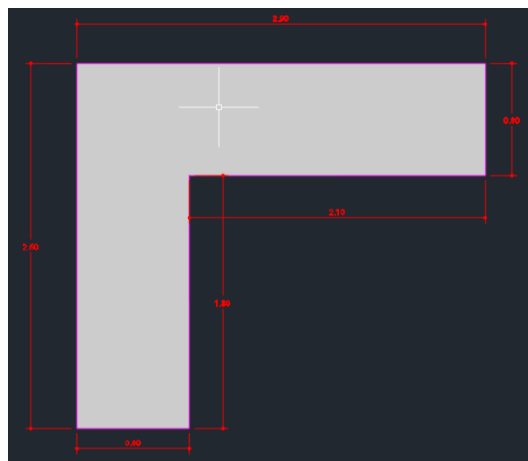
Fuente. Elaboración propia.



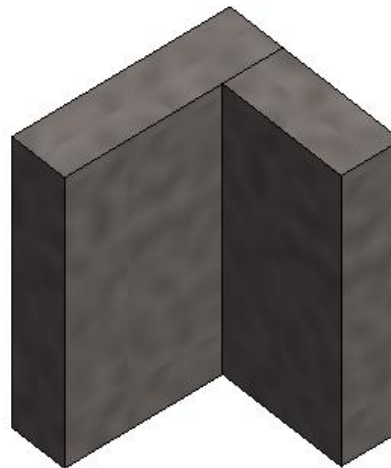
COLUMNA 3B



COLUMNA 4A



Tomada del archivo EST DESPIECE DE COLUMNAS TRE PIU. Dwg



Tomada del archivo TRE PIU ESTRUCTURAL.rvt

Ilustración 70. COLUMNA 4A

Fuente. Elaboración propia.

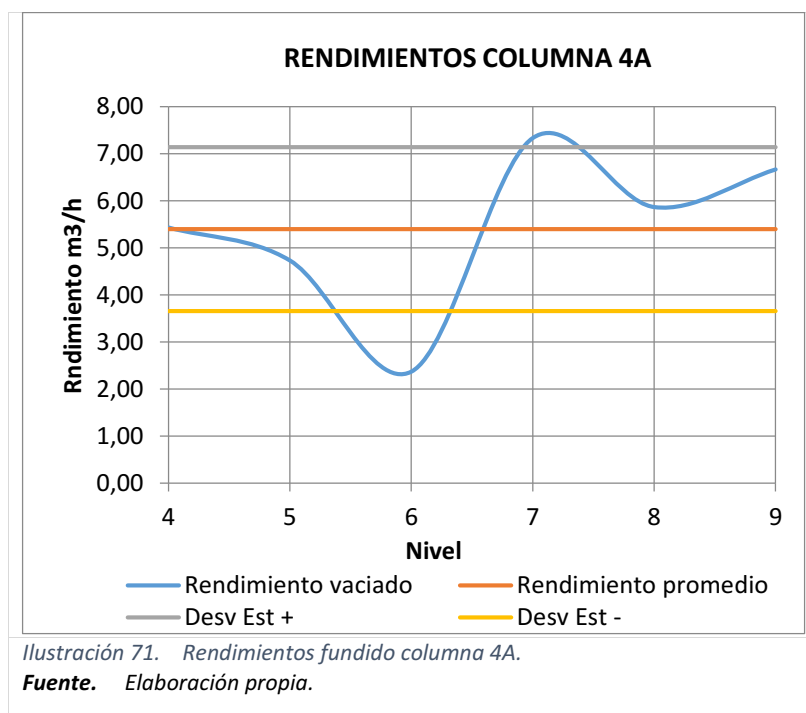
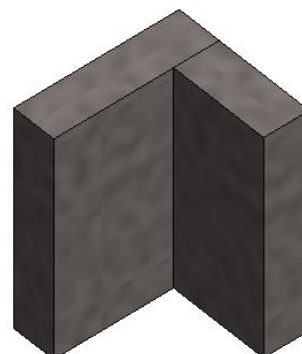
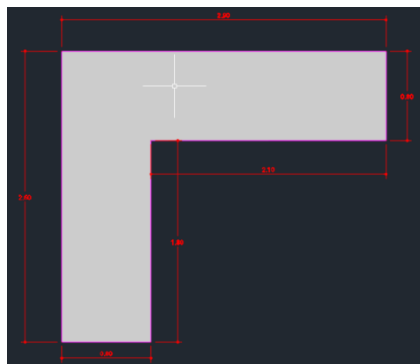


Ilustración 71. Rendimientos fundido columna 4A.

Fuente. Elaboración propia.

COLUMNA 4B

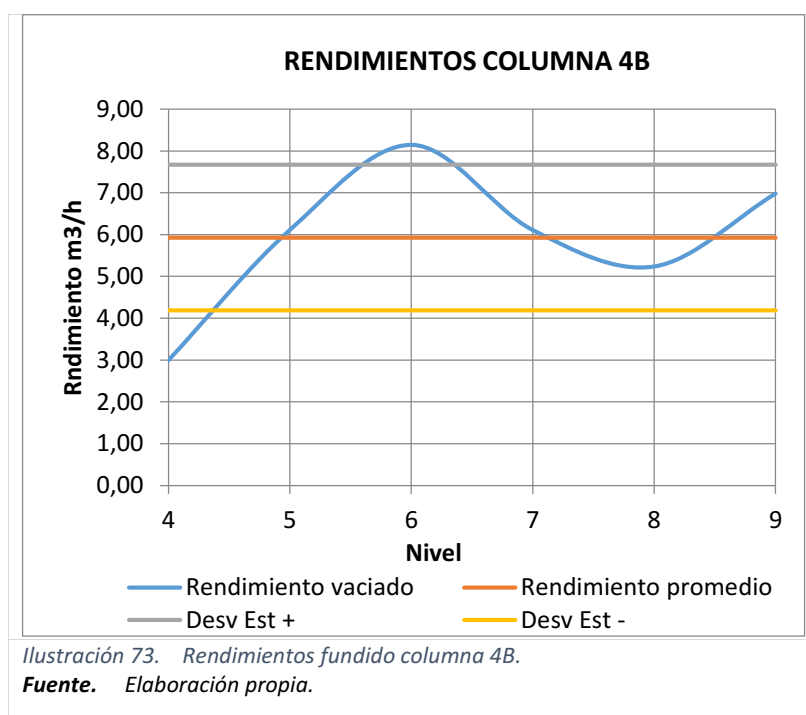


Tomada del archivo *EST DESPIECE DE COLUMNAS TRE PIU. Dwg*

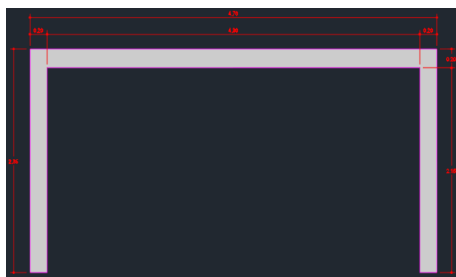
Tomada del archivo *TRE PIU ESTRUCTURAL.rvt*

Ilustración 72. COLUMNA 4B

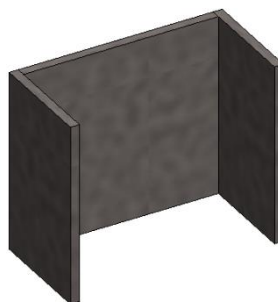
Fuente. Elaboración propia.



MURO M1



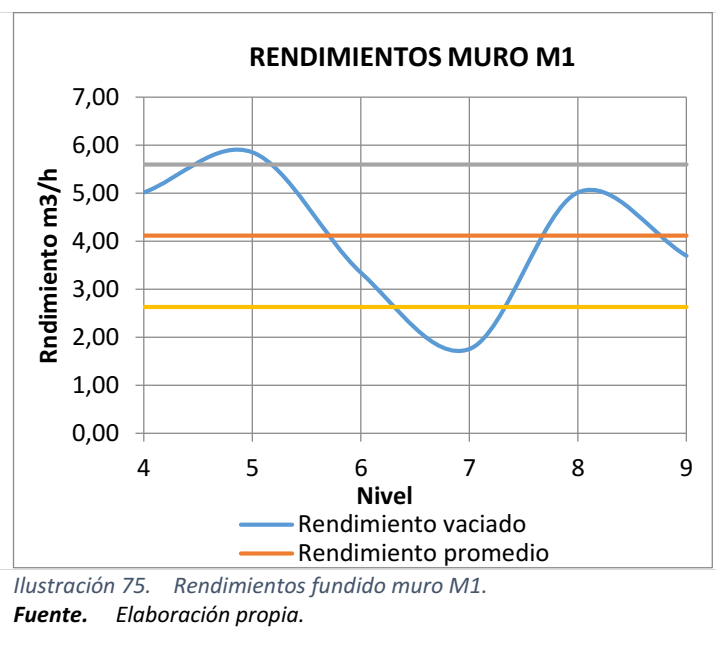
Tomada del archivo EST DESPIECE DE COLUMNAS TRE PIU. Dwg



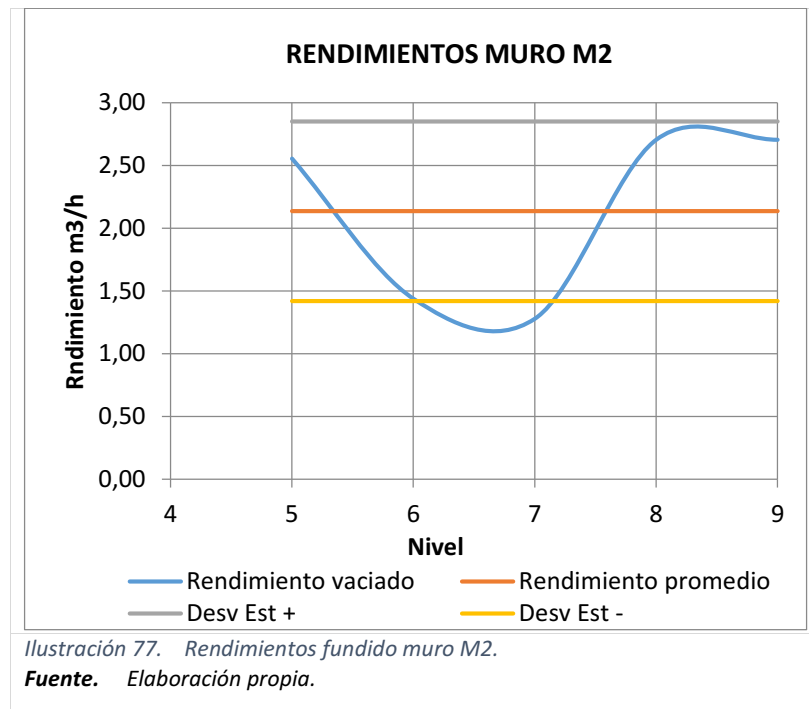
Tomada del archivo TRE PIU ESTRUCTURAL.rvt

Ilustración 74. MURO M1

Fuente. Elaboración propia.



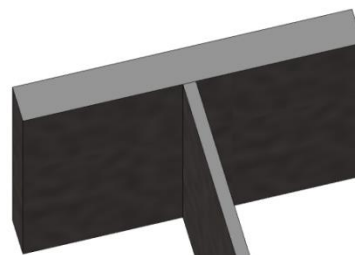
MURO M2



MURO M3 PARTE 1



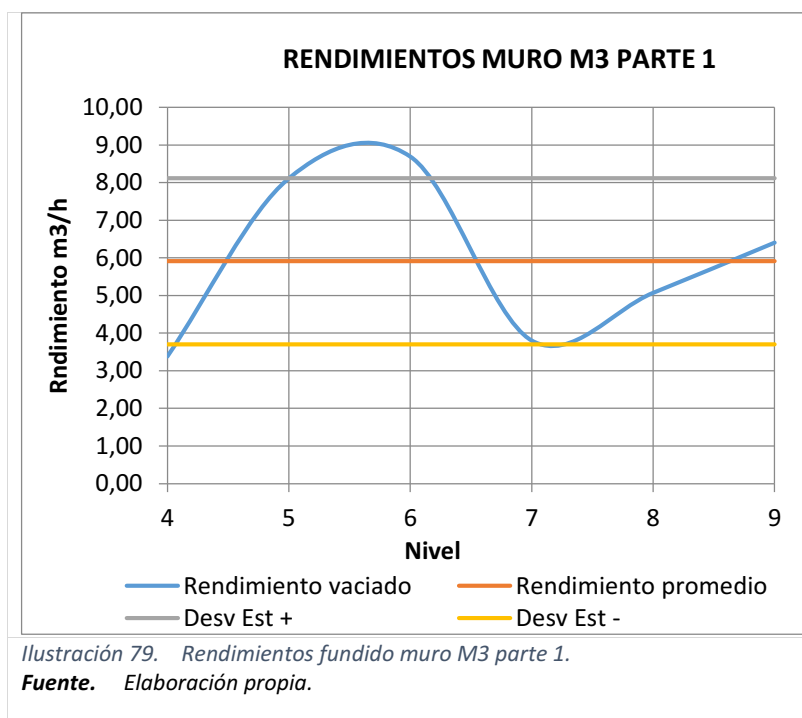
Tomada del archivo EST DESPIECE DE COLUMNAS TRE PIU. Dwg



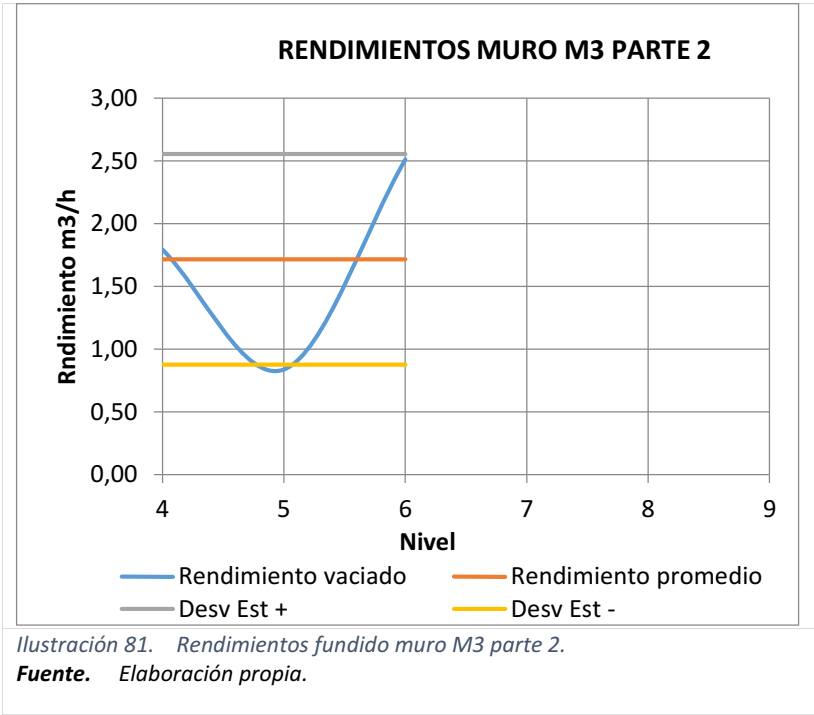
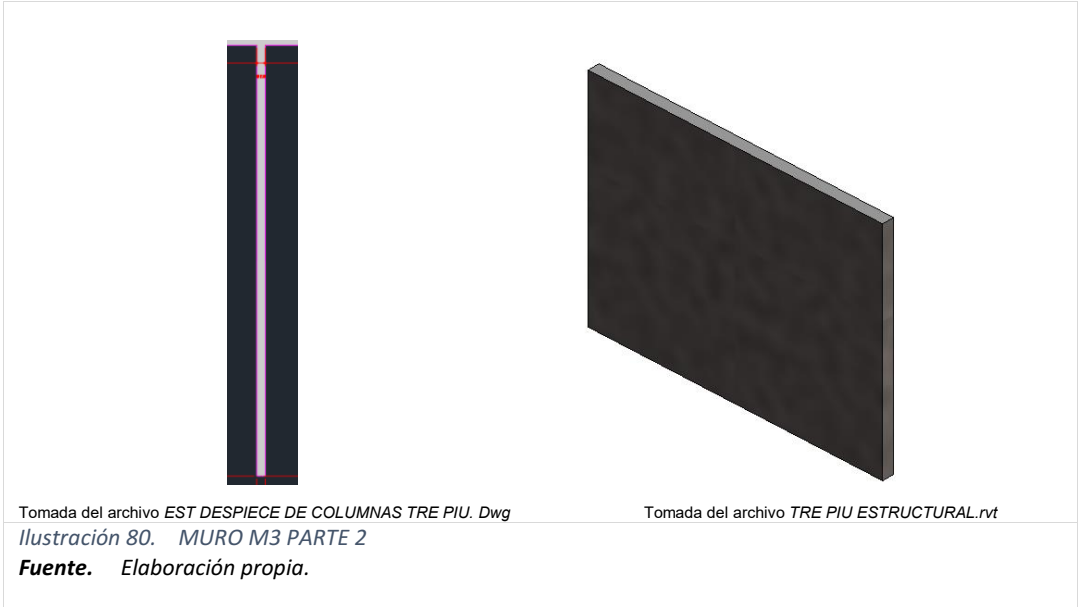
Tomada del archivo TRE PIU ESTRUCTURAL.rvt

Ilustración 78. MURO M3 PARTE 1

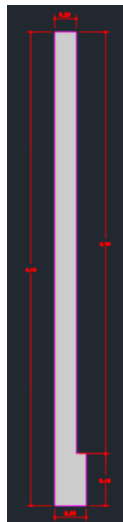
Fuente. Elaboración propia.



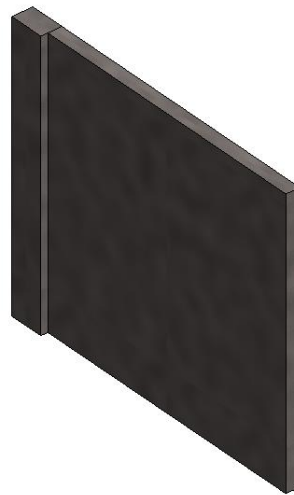
MURO M3 PARTE 2



MURO M4



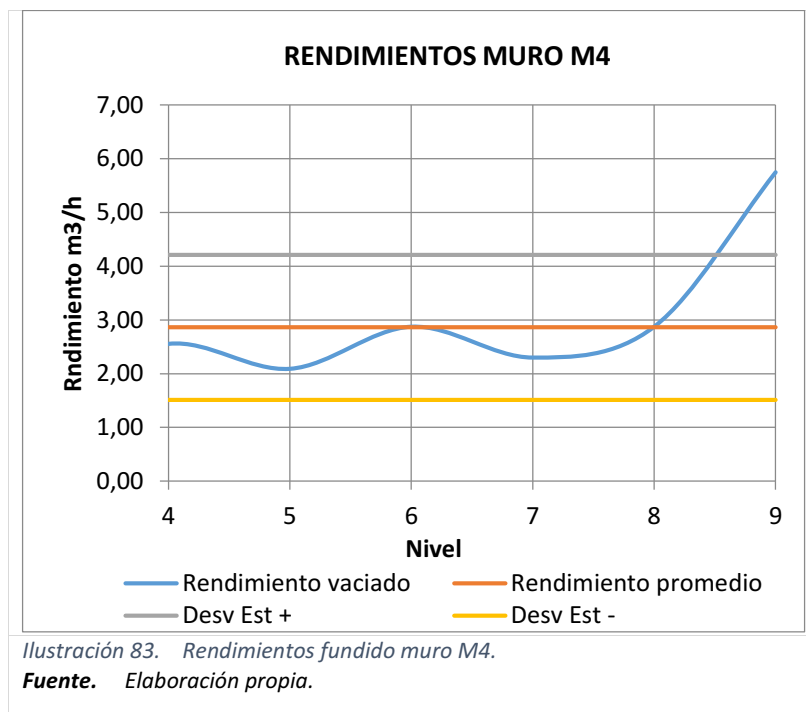
Tomada del archivo EST DESPIECE DE COLUMNAS TRE PIU. Dwg



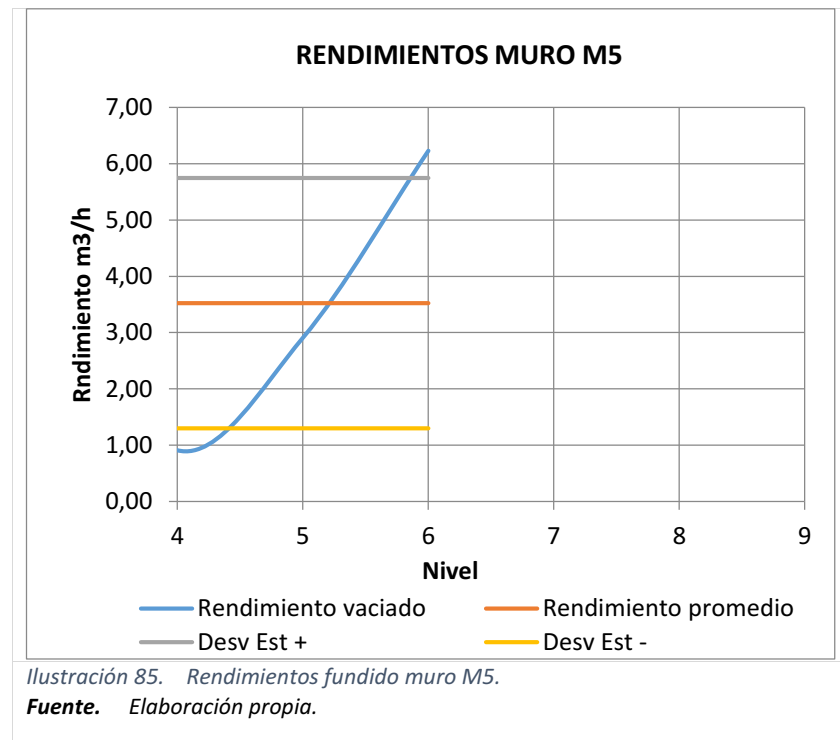
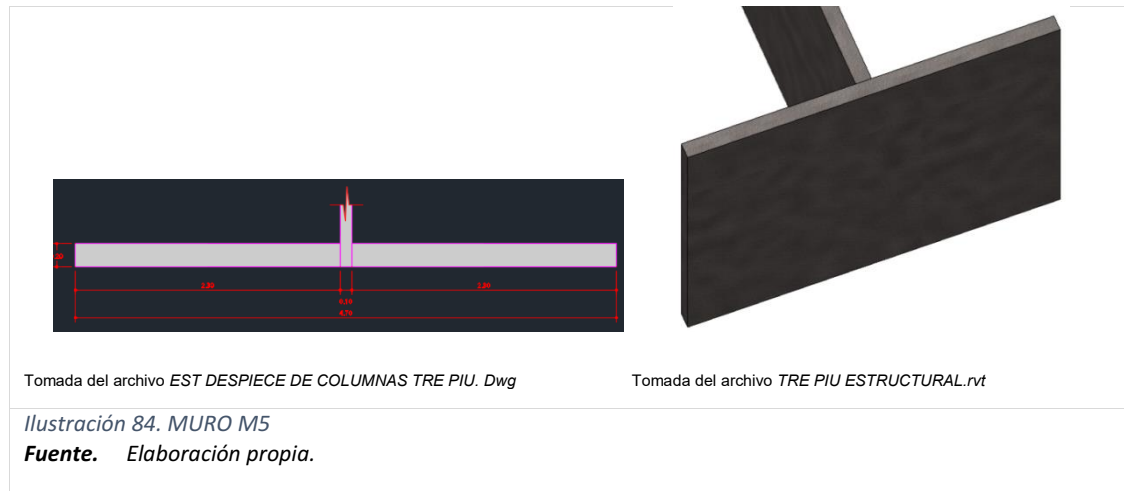
Tomada del archivo TRE PIU ESTRUCTURAL.rvt

Ilustración 82. MURO M4

Fuente. Elaboración propia.



MURO M5

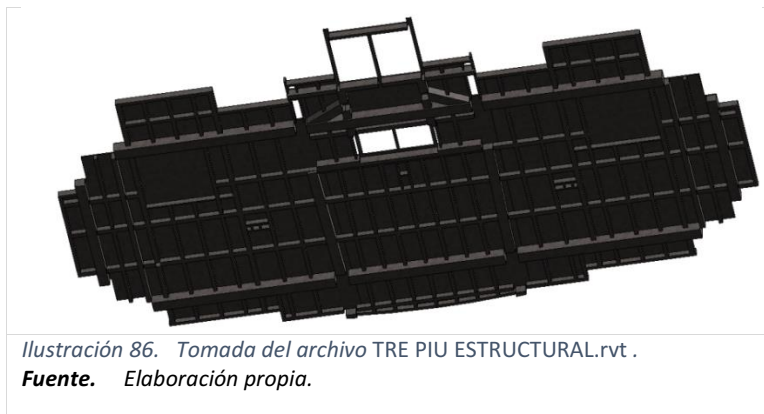


Como se puede observar en las gráficas entre las ilustraciones 59 al 85 los rendimientos de los fundidos realizados a la fecha aún no marcan una tendencia a mostrar una curva de aprendizaje, esto se debe a que por problemas de suministro del concreto muchas veces el tiempo de ejecución de los fundidos estaba condicionado a la llegada del concreto y no a la propia ejecución del fundido.

Por otro lado es importante resaltar que los rendimientos hasta ahora obtenidos marcan un rendimiento óptimo que obedece a la cifra del rango mayor de la desviación estándar, este dato

es importante porque con él se puede proyectar los objetivos de los fundidos para el control de la programación de obra.

PLACAS



*Ilustración 86. Tomada del archivo TRE PIU ESTRUCTURAL.rvt .
Fuente. Elaboración propia.*

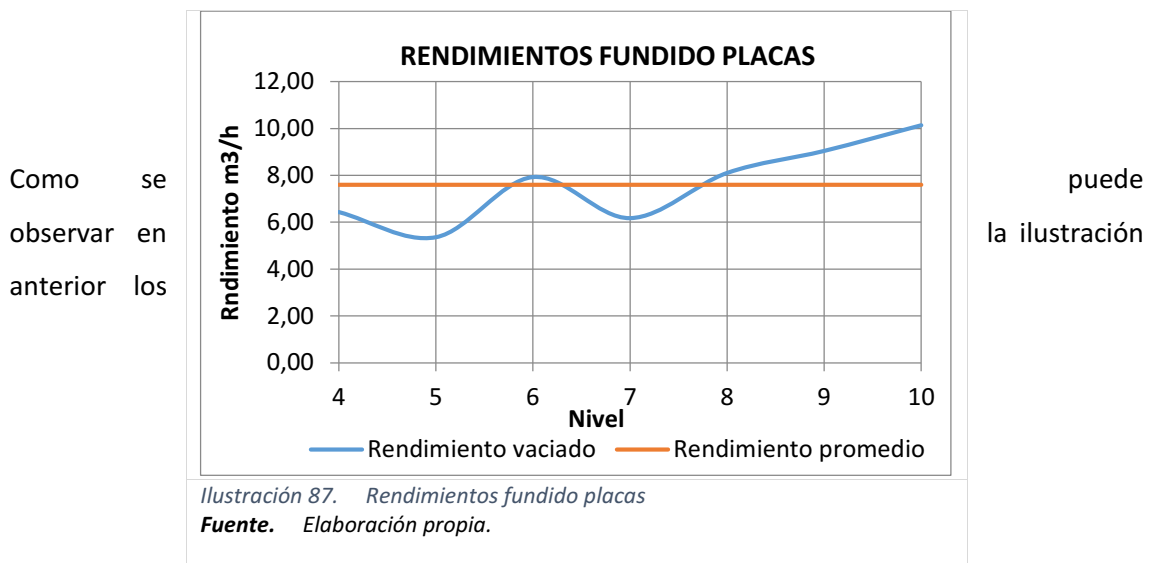
Los datos adquiridos durante el monitoreo de las placas se procesó y se resumió en la *tabla 14*:

Tabla 14. Rendimientos de fundido de placa.

RESUMEN PLACAS	
PLACA	RENDIMIENTO (m3/hr)
4	6.44
5	5.36
6	7.93
7	6.18
8	8.11
9	9.05
10	10.14
PROMEDIO	7.60

Fuente. Elaboración propia.

De la *tabla 14* sale el siguiente gráfico:



rendimientos de los fundidos realizados a la fecha aún comienzan a marcar una curva de aprendizaje, esto obedece a que como son placas de mayor volumen la demora en el suministro no la afecta tanto como a las columnas.

A pesar de que este grafico marca una tendencia a cada mes mejorar los rendimientos, aun no se marca una curva de aprendizaje.

Es claro que las placas son el producto final en la ruta crítica de la estructura en cada nivel de edificio, por lo cual se hace necesario además de monitorear los rendimientos en las placas, revisar los ciclos de fundido entre placas, para lo cual se muestra la siguiente información:

Tabla 15. Ciclo de placas.

CICLO PLACAS					
PLACA	FECHA INICIO	FECHA FIN	DIAS PLACA	DIAS CICLO	DIAS MUERTOS
4	30/04/2015	14/05/2015	14.00		
5	16/05/2015	23/05/2015	7.00	16.00	2.00
6	29/05/2015	04/06/2015	6.00	13.00	6.00
7	09/06/2015	17/06/2015	8.00	11.00	5.00
8	26/06/2015	03/07/2015	7.00	17.00	9.00
9	07/07/2015	16/07/2015	9.00	11.00	4.00
10	22/07/2015	29/07/2015	7.00	15.00	6.00
PROMEDIO			8.29	13.83	5.33

Fuente. Elaboración propia.

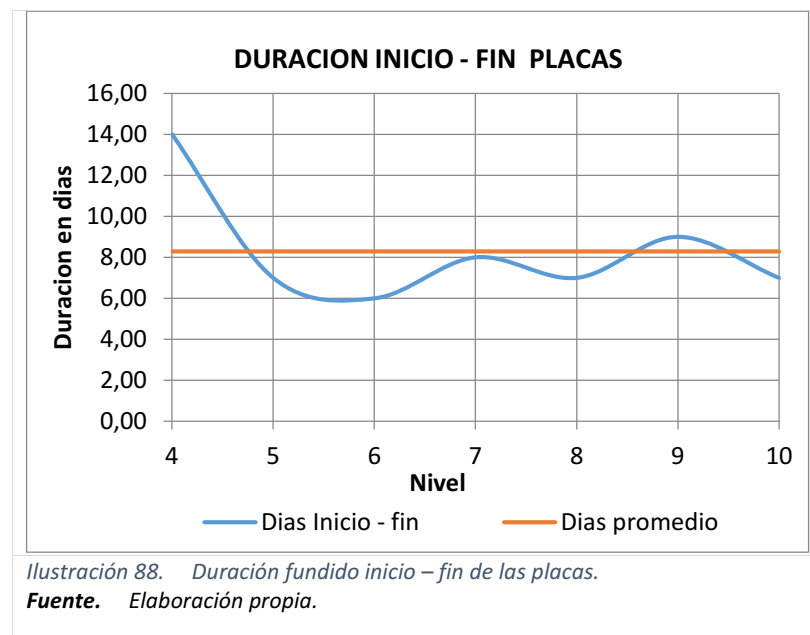
A continuación se describen cada una de las columnas de la *tabla 15*:

DIAS PLACAS: Son los días que tardo la placa en ser fundida en su totalidad.

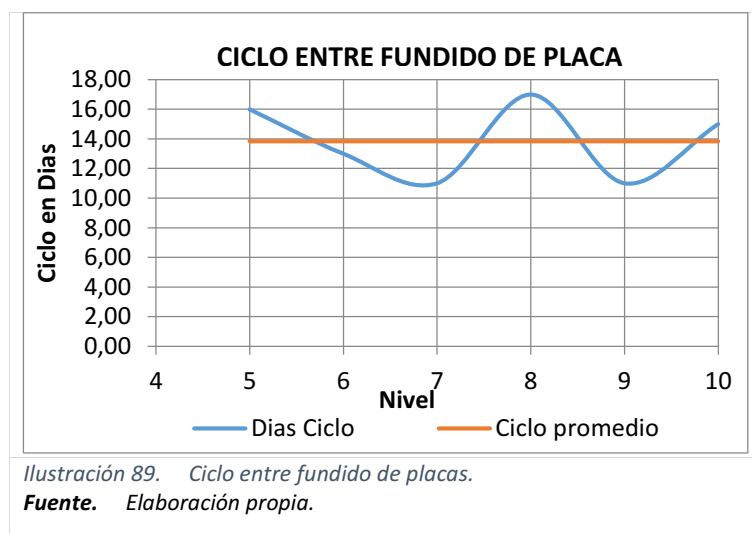
DIAS CICLO: Son los días que tardo el inicio de fundida de una placa versus el inicio de la placa inmediatamente anterior a ella.

DIAS MUERTOS: Son los días que tardo el inicio de una placa versus el final de la placa inmediatamente anterior a ella.

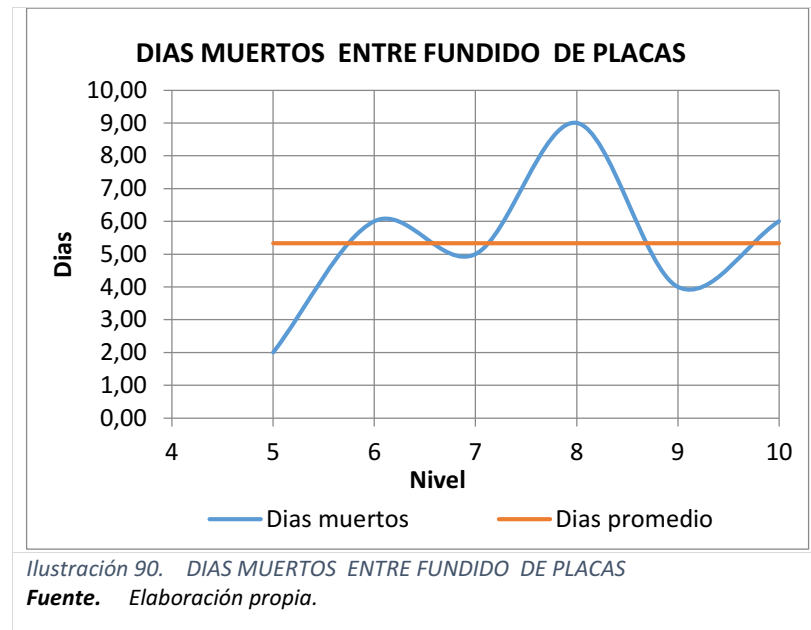
Procesando los datos de la *Tabla 15* se obtienen los siguientes gráficos:



Como se puede observar en la ilustración anterior las duraciones para completar la totalidad de cada placa la fecha aún no marcan una tendencia a mostrar una curva de aprendizaje.



Como se puede observar en el *Grafico 17* los ciclos entre fundido de cada placa a la fecha aún no marcan una tendencia a mostrar una curva de aprendizaje, sin embargo se muestra un promedio de **13.86 días**, lo cual está por encima de lo estimado en la programación de obra, ya que estas placas deberían tener un ciclo de 8 días.



El *Grafico 18*. Nos muestra que en promedio por placa hay **5.33 días** muertos, lo cual suena elevado ya que lo ideal es que sean máximo 2 días que son los días no hábiles de la semana. Si al ciclo promedio le restamos los días muertos obtenemos un ciclo óptimo de **8.5 días**, que se ajusta bastante a lo estimado en programación de obra.

5.5.3 Contraste de monitoreo con modelo 4D

Después de haber realizado la programación de la obra y de haber simulado su ejecución en un modelo 4D surgió una situación no esperada en el proyecto que obligó a suspender las actividades del avance en la estructura alrededor de 2 meses, debido a que unos de los taludes circundantes a la torre perdió su estabilidad y obligó suspender el avance de la obra hasta no generar una contención temporal.

Esta situación
tiempos de
constructor
ejecución de la
más



Ilustración 91. Talud desestabilizado.
Fuente. Elaboración propia.

consumió los
holgura que el
tenia para la
obra e hizo
interesante el

reto de la medición de productividad mediante el sistema de monitoreo IP para poder tener certeza en tiempo real del avance de obra versus lo programado.

A continuación se muestra el contraste del modelo 4D reprogramado versus las actividades monitoreadas con IDEO:

- Según IDEO los ciclos de las placas se resumen en la siguiente tabla:

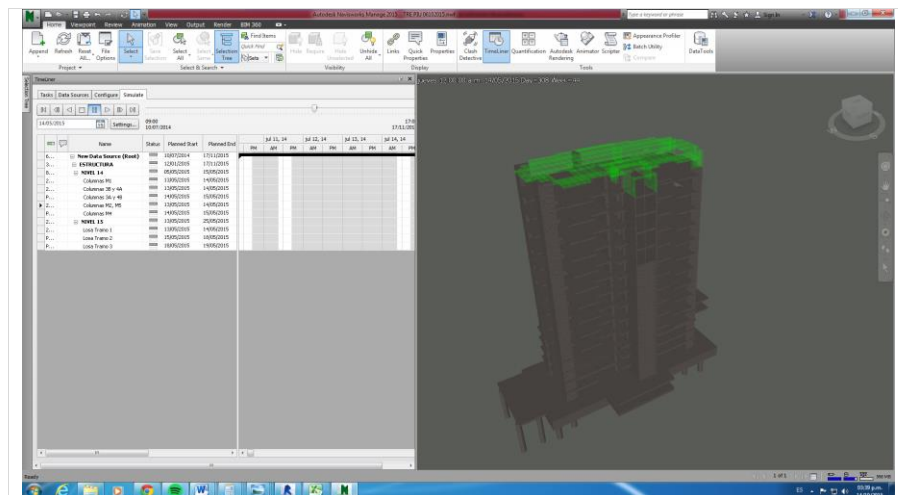
Tabla 15. Ciclos de las placas.

CICLO PLACAS					
PLACA	FECHA INCIO	FECHA FIN	DIAS PLACA	DIAS CICLO	DIAS MUERTOS
4	30/04/2015	14/05/2015	14.00		
5	16/05/2015	23/05/2015	7.00	16.00	2.00
6	29/05/2015	04/06/2015	6.00	13.00	6.00
7	09/06/2015	17/06/2015	8.00	11.00	5.00
8	26/06/2015	03/07/2015	7.00	17.00	9.00
9	07/07/2015	16/07/2015	9.00	11.00	4.00
10	22/07/2015	29/07/2015	7.00	15.00	6.00
PROMEDIO			8.29	13.83	5.33

Fuente. Elaboración propia.

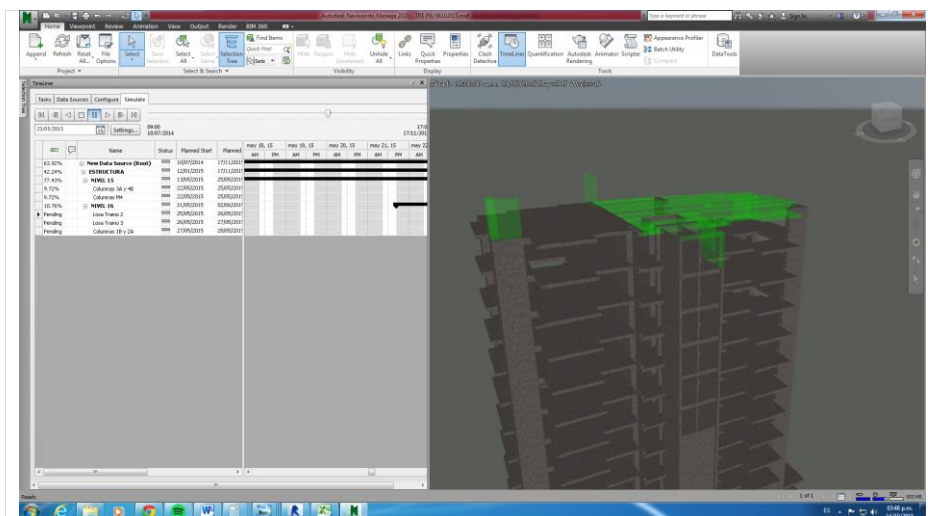
Si se revisan cada una de las fechas de fin de la tabla con lo que muestra el modelo se obtienen los siguientes resultados:

- 14/05/2015 según el modelo 4D para esta fecha debieran de estar en ejecución la mitad de las columnas del nivel 14 y el primer tramo de la placa 15.



contrasta con la información de IDEO en este punto, existe un retraso de 88 días.

- 23/05/2015 según el modelo 4D para esta fecha debieran de estar en ejecución las primeras columnas del nivel 16 y el segundo tramo de la placa 16.



Si se contrasta con la información de IDEO en este punto ya hay un retraso de 89 días.

- 04/06/2015 según el modelo 4D para esta fecha debieran tercer tramo de la placa 18.

Si se contrasta con la información de IDEO en este punto ya hay un retraso de 90 días.

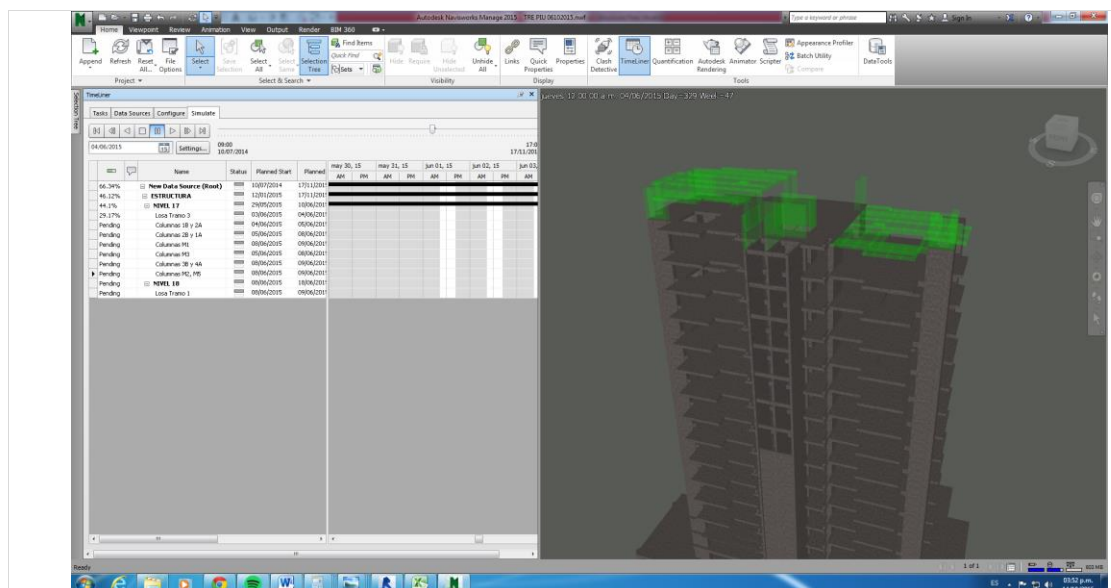


Ilustración 94. Ejecución programada al 04/06/2015
Fuente. Elaboración propia.

- 17/06/2015 según el modelo 4D para esta fecha debieran de estar en ejecución las primeras columnas del nivel 19.

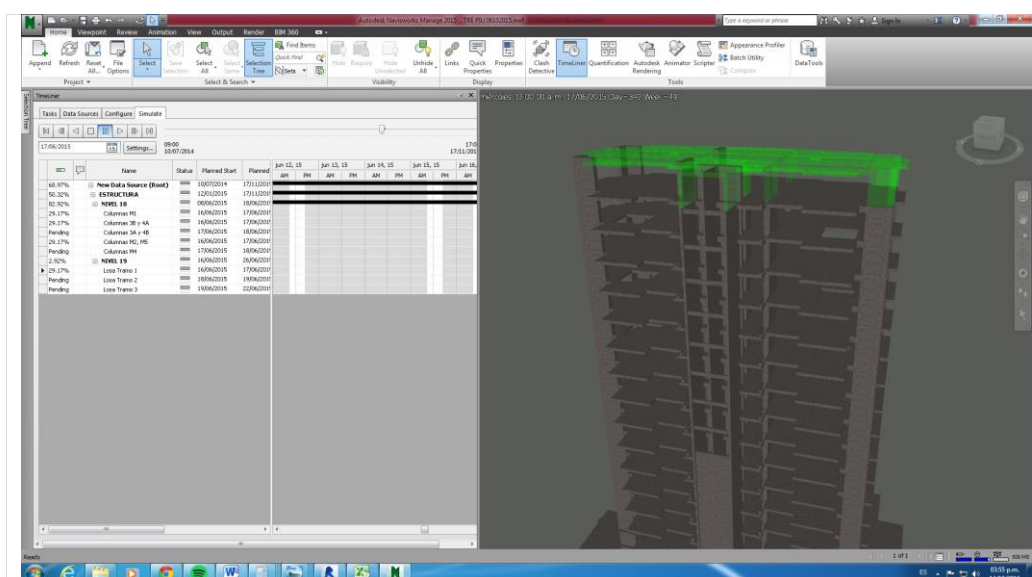


Ilustración 95. Ejecución programada al 17/06/2015.
Fuente. Elaboración propia.

Si se contrasta con la información de IDEO en este punto ya hay un retraso de 85 días.

- 03/07/2015 según el modelo 4D para esta fecha debieran de estar en ejecución las primeras columnas del nivel 21.

Si se contrasta con la información de IDEO en este punto ya hay un retraso de 93 días.

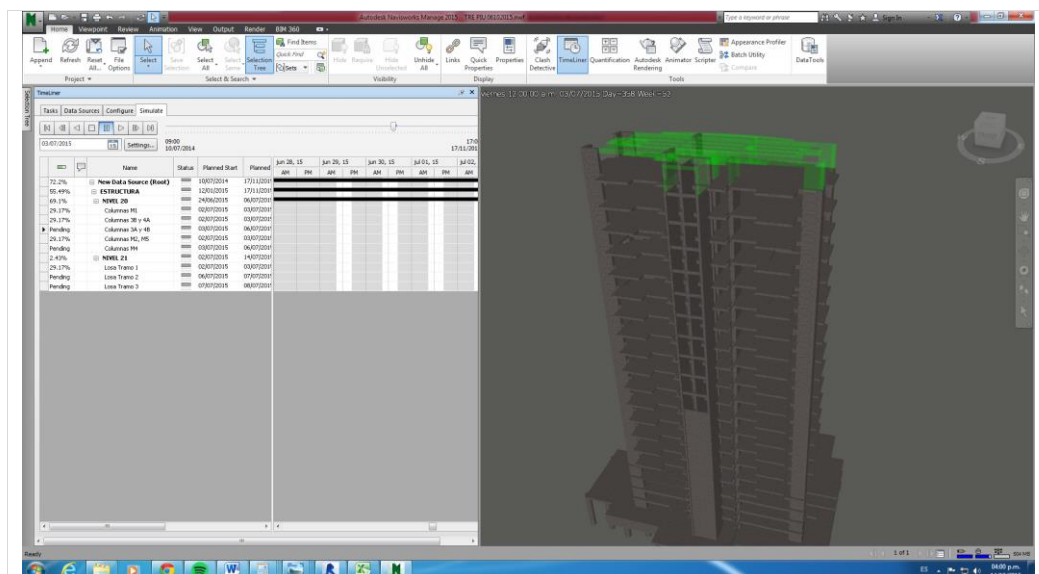


Ilustración 96. Ejecución programada al 03/07/2015.

Fuente. Elaboración propia.

- 16/07/2015 según el modelo 4D para esta fecha debieran de estar en ejecución el tercer tramo de la placa 22.

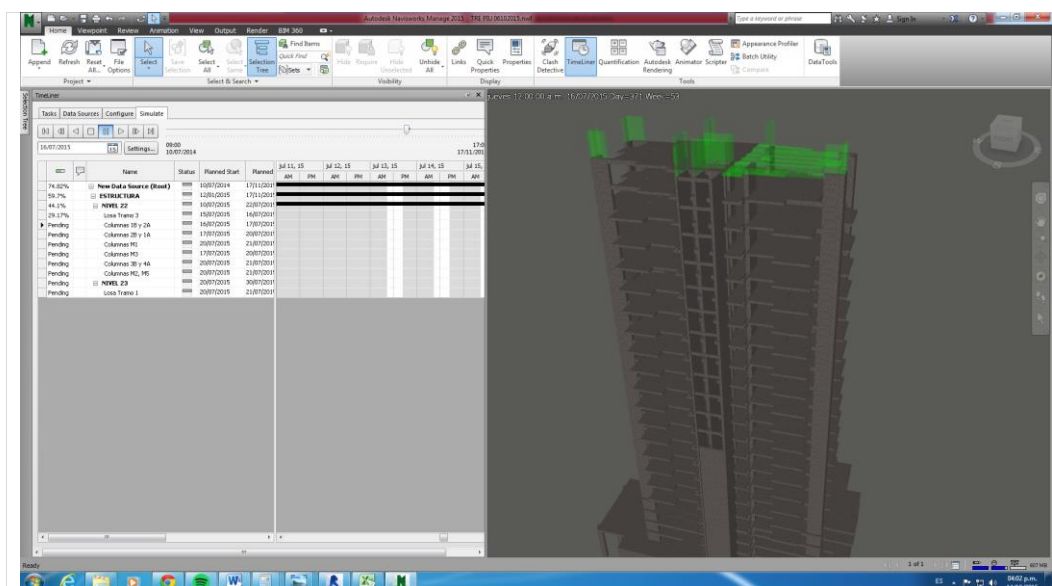


Ilustración 97. Ejecución programada al 16/07/2015..

Fuente. Elaboración propia.

Si se contrasta con la información de IDEO en este punto ya hay un retraso de 106 días.

- 29/07/2015 según el modelo 4D para esta fecha debieran de estar en ejecución las primeras columnas del nivel 24.

Si se contrasta con la información de IDEO en este punto ya hay un retraso de 112 días.

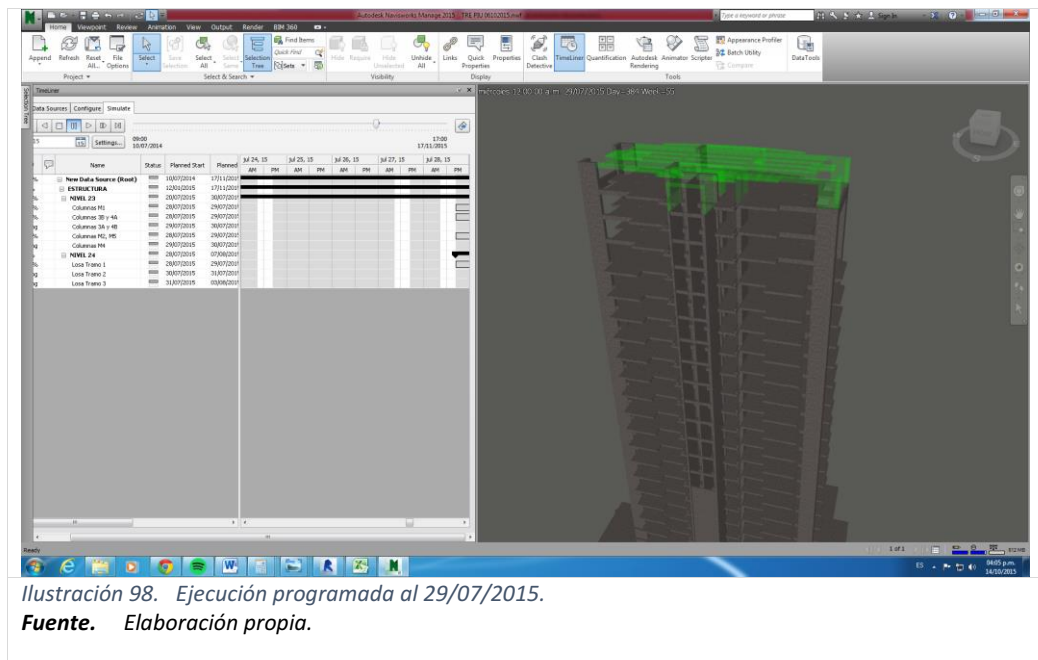


Ilustración 98. Ejecución programada al 29/07/2015.

Fuente. Elaboración propia.

Como se observa en el contraste realizado la tendencia según el avance de la obra es que cada semana el retraso aumenta, por tal motivo se concluyó que la obra no fue programada basándose en la realidad y no se tuvieron en cuenta aspectos muy importantes para dicha programación. A continuación se enuncian dichos aspectos no estimados para la programación de la obra

- Debido a la altura libre no convencional del edificio, se hizo necesario realizar la torre grúa cada placa, debido a que el acero que se traslapa de las columnas interfería con el giro de la torre, esta actividad de realce tardaba 2 días por placa.
- El transporte vertical de los materiales necesarios para la estructura se realizó mediante la torre grúa y esta al estar detenida 2 días en cada placa, hacía que las actividades de armado de refuerzo y obra falsa no se ejecutaran en el tiempo programado.
- Según el informe de IDEO se generó un promedio de 5 días muertos por placa, representados en el extra tiempo necesario para subir el material sin la torre grúa y al tiempo que no se podía trabajar mientras la realizaban.
- Una vez identificada esta situación, se decidió optar por alternativas que permitieran atenuar esta situación y permitir recuperar un retraso en la obra de alrededor de 3 meses.

5.5.4 Alternativas para mejorar productividad

Como se identificó que el principal problema eran los realces de la torre grúa, y que estos eran debido a la altura de los traslapes de las columnas, se optó por encontrar soluciones para que las columnas no tuvieran traslapes y dentro de las opciones encontradas apareció la posibilidad de usar acoples roscados para suprimir los traslapes y poder usar acero más corto, logrando así relazar la grúa cada 2 placas. Esta alternativa le quitaba 1 día muerto al ciclo de cada placa.



Ilustración 99. Columnas con acoples roscados y aceros al mismo nivel.

Fuente. *Elaboración propia.*

Pero como un día menos no era suficiente para disminuir el retraso acumulado, se continuaron buscando alternativas de optimización de procesos y debido a las posibilidades que ofrecían los acoples se sugirió la posibilidad de prefabricar las canastas de las columnas principales para lograr mejor rendimientos en altura y optimizar el transporte de la torre grúa. Para este análisis se recurrieron a modelos 3D realizados en Sketchup para visualizar el proceso y socializar con el personal de mano de obra.

De esta manera se encontró que se podía reducir un día más al ciclo de las placas, pero seguía siendo insuficiente para recuperar el retraso acumulado que se tenía.

La conclusión a la que se llegó entonces era que este retraso se debía recuperar en actividades no relacionadas con la estructura, se identificó entonces que una de las actividades con dificultad era el revoque, ya que por la altura de algunos muros internos de hasta 3.9m los rendimientos se tenían programados más bajos de lo normal y por tal motivo una de las

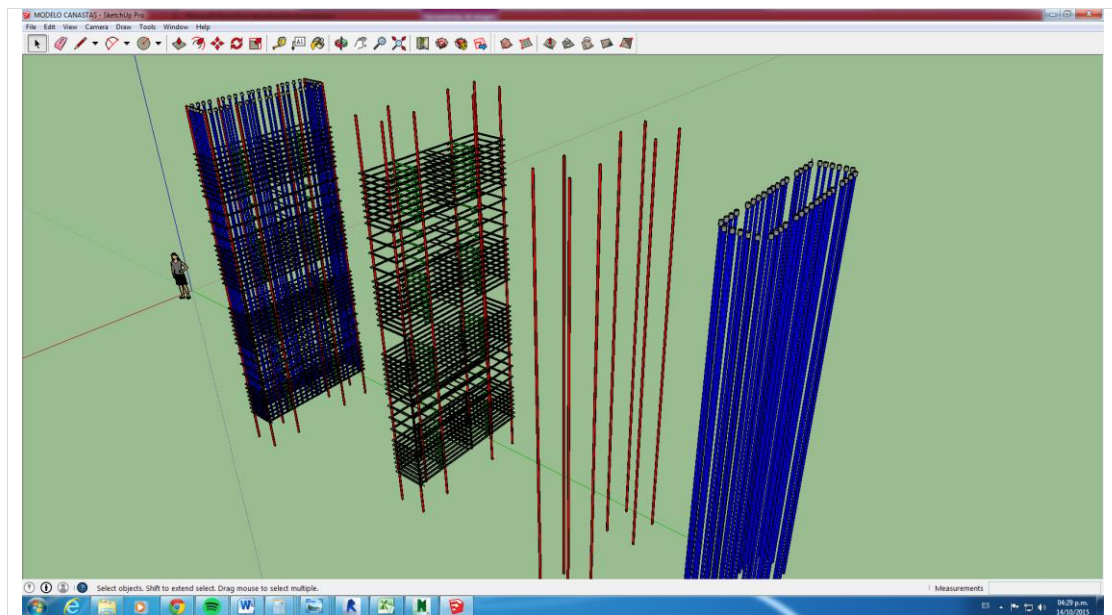


Ilustración 100. Modelo 3D de canastas prefabricadas.

Fuente. *Elaboración propia.*

decisiones que tomaron fue la de cambiar el revoque convencional en los muros internos por revoque seco, esto según lo proyectado permitía disminuir 3 días por nivel según lo programado. En total se analizó que para la totalidad del proyecto se lograba una disminución en tiempo de ejecución de 99 días logrando así ajustarse más a lo programado inicialmente así se incurriera en un mayor valor de la actividad presupuestada en el revoque tradicional.

6 APLICACIÓN

6.1 PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

Como resultado final, se busca generar una propuesta de implementación de la metodología implementada durante esta investigación, para ser tomada en cuenta en otros proyectos de construcción, basándose en los resultados obtenidos y en los beneficios encontrados aplicables a la metodología.

6.1.1 Tipos de proyectos

A continuación se enuncian, según el tipo de proyecto que parte de la metodología le aplica para mejorar sus procesos, según los resultados que se obtuvieron en esta investigación:

Tabla 16. Tipos de proyectos para la aplicación de la metodología.

TIPO DE PROYECTO	MODELO 4D		MONITOREO REMOTO	
	USO	OBSERVACIONES	USO	OBSERVACIONES
EDIFICACIONES DE 1 A 10 NIVELES	Aplica	Se pueden lograr en un 100% de los beneficios teóricos de las tecnologías BIM	No aplica	Debido a que la calibración del sistema requiere de un tiempo de monitoreo y que las actividades requieren de cierta inercia para que los rendimientos se normalicen, se considera que no es mucho el aporte para analizar la productividad edificaciones de menos de 10 niveles, aunque funcionaria para documentar la obra.
EDIFICACIONES DE MAS DE 10 NIVELES	Aplica	Se pueden lograr en un 100% de los beneficios teóricos de las tecnologías BIM	Aplica	Se logran documentar los procesos constructivos y permite identificar los rendimientos óptimos de la construcción, comparando lo programado con lo real.

EDIFICACIONES COMPLEJAS (HOSPITALES, ESTADIOS, EDIFICIOS CON CARACTERISTICAS ESPECIALES)	Aplica	Se pueden lograr en un 100% de los beneficios teóricos de las tecnologías BIM	Aplica	Adicional a la documentación de la obra y al control de productividad se permite un control de los procesos en los que es posible identificar los puntos críticos a mejorar dada la complejidad de los elementos a construir.
VIAS	Aplica	Con el software implementado en esta investigación no es posible realizar los modelos 3D con el detalle que requiere, pero existen otros que si lo permiten y se pueden generar los mismos beneficios en planeación y ejecución de la obra.	No aplica	Requiere de una tecnología diferente para poner en funcionamiento las cámaras, y una infraestructura de red más compleja debido a las largas longitudes de intervención y a la poca conectividad que ofrecen los sitios donde se desarrollan
PUENTES	Aplica	Se pueden lograr en un 100% de los beneficios teóricos de las tecnologías BIM	Aplica con restricciones	Se requiere de un acceso a internet 4G.
PUERTOS	Aplica	Se pueden lograr en un 100% de los beneficios teóricos de las tecnologías BIM	Aplica	Se logran documentar los procesos constructivos y permite identificar los rendimientos óptimos de la construcción, comparando lo programado con lo real.

Fuente. Elaboración propia.

6.1.2 Requerimientos

Para implementar la metodología propuesta se tiene que partir de una base de requerimientos mínimos que el proyecto debe tener resueltos para lograr una sinergia entre los software que se usan, los individuos que participan y el entorno del proyecto como tal, a continuación se describen:

- Se deben tener recursos para adquirir el hardware requerido para el sistema de monitoreo remoto. Esto incluye las cámaras, equipos y personal para la instalación.
- En caso de que los diseñadores no entreguen el modelo 3D de sus diseños, es necesario tener una computadora con buenas especificaciones (Procesador Core I7 o similar, memoria RAM de 8gb, disco duro de 500mb, y tarjeta gráfica de 1gb) y una persona capacitada para realizar los modelos.
- Planos definitivos para construcción.
- Formatos de cantidades de obra para vincular con las cantidades de obra.
- Definir bien los puntos de ubicación de las cámaras y los equipos para el monitoreo.
- Internet de 16 Mb exclusivo para el sistema.
- Capacitar a la supervisión técnica de la obra en el manejo del software IDEO.

6.1.3 Beneficios

Para proyectos donde por sus características aplica la implementación de la metodología y al mismo tiempo se logran obtener todos los requerimientos mínimos enunciados anteriormente, es posible obtener beneficios reales que se pueden medir en tiempo y dinero.

MODELO 3D

A continuación se describen los beneficios aplicables a la metodología propuesta, de la modelación 3D:

- Por medio del trabajo de modelación 3D de los diferentes diseños se logra un mejor entendimiento de los planos por parte del personal que interviene en la planeación y en la ejecución de la obra.
- En la fase de planeación es posible llevar una mejor trazabilidad de los cambios que se generan en cada diseño y las implicaciones que estos tienen en el presupuesto.

- Se puede establecer con gran facilidad las interferencias entre los diferentes diseños y la mejor forma de solucionarlas, anticipándose a futuros problemas durante la obra.
- En la fase de ejecución se generan herramientas prácticas y precisas para pedidos de suministros, y adjudicación de contratos, teniendo certeza de las cantidades y los elementos a construir.

MODELO 4D

A continuación se describen los beneficios aplicables a la metodología propuesta, de la modelación 4D:

- Simulando la programación de obra integrada a los elementos de un modelo 3D se puede lograr una mejor comprensión de cómo se atacara el proyecto desde el punto de vista del tiempo de ejecución.
- En la fase de planeación del proyecto permite identificar como optimizar la programación visualizando las restricciones de obra falsa equipos especiales y personal que se tuvieron en cuenta inicialmente por el programador y que en algunas ocasiones no se planean para los proyectos específicos.
- En la fase de ejecución se puede llevar un control de la programación gráfico, que permite desde la realidad virtual una comprensión más ajustada del estado de la obra y una herramienta muy útil para la planeación semanal (last Planner) con los contratistas y el personal de obra.

MONITOREO IP DE PRODCUTIVIDAD

A continuación se describen los beneficios aplicables a la metodología propuesta, Del monitoreo IP de productividad:

- En la fase constructiva se logra una documentación gráfica de las actividades monitoreadas, organizada cronológicamente permitiendo generar una bitácora en video e imágenes fiel a la realidad.
- Con los análisis de rendimientos que el software arroja se puede identificar los rendimientos óptimos de las actividades monitoreadas y se pueden proyectar los tiempos reales de cada actividad monitoreada, permitiendo un control de la programación basado en realidades y no en supuestos.
- Se puede llevar un control de calidad más asertivo, ya que las situaciones que se presentan en obra se pueden resolver en tiempo real por las personas idóneas para cada situación sin generar retrasos en el tiempo de ejecución.

7 CONSIDERACIONES FINALES

La metodología propuesta abarca puntualmente dos aspectos del proceso de desarrollo de un proyecto de construcción: una gestión de diseños ordenada y depurada (modelado 4D) en la fase de planificación, y un control documentado de la productividad en la ejecución de la obra (monitoreo IP). El sistema desarrollado se implementó en la construcción de un proyecto complejo de vivienda, utilizando tecnologías muy poco usados en nuestro medio local.

Para el caso puntual de la implementación de modelos BIM 4D, como herramienta para la gestión colaborativa de los diseños en la fase de planificación del proyecto se evidenció que no es una tarea fácil de lograr en todo el potencial que ofrece la tecnología, por el paradigma que traen los consultores de algo que nunca habían realizado, y por la misma forma especulativa descrita en el modelo local de la gestión de proyectos. Sin embargo en la implementación realizada se muestran resultados reales y medibles que hablan por sí solos de los beneficios que traen, como anticiparse a los problemas que se traducen en re-procesos, producto de las limitaciones propias que traen los planos en 2D. De esta manera la reacción obtenida hasta ahora en el proceso de construcción del proyecto Cantagirone Tre Piu, que aún no finaliza, permiten vislumbrar el interés de la constructora en continuar con el proceso integración de diseños usando tecnologías BIM, exigiendo a sus consultores la entrega de los diseño ya modelados en REVIT.

Por otro lado, el sistema de monitoreo IP tuvo inicialmente una mejor aceptación por parte de la interventoría y la dirección de obra, por la expectativa que generó los notables beneficios del apoyo visual y la documentación gráfica propias del sistema, pero a medida que se fue desarrollando la implementación del sistema se encontraron varias limitantes del mismo por el hecho de depender de una persona que este monitoreando las actividades propuestas para capturar los datos, y también por el hecho de estar expuesto a que en los reales de la torre grúa se generaran daños al cableado. Estas situaciones fueron muy traumáticas para la correcta operación del sistema, pero una vez se superaron, el sistema fue indispensable en la obra para identificar los ciclos de vaciado y los principales causantes de los retrasos acumulados presentados anteriormente, ya que este tipo de retrasos es algo muy común en nuestro medio, pero normalmente por no tener un control preciso de la documentación no es fácil identificar los agentes causantes de retrasos y por esta razón los correctivos que se toman muchas veces no son eficaces.

Finalmente es importante resaltar que en proyectos de alta complejidad se hace necesario implementar metodologías con alternativas tecnológicas de este tipo, ya que por lo poco convencional de todo lo que se involucra en la construcción de este tipo de proyectos es muy difícil anticiparse a los futuros desafíos sin una ayuda tecnológica diseñada para una gestión especializada del proyecto, desde que nace hasta que se entrega.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Abeid, J.; Allouche, E.; Arditi, D.; Hayman, M. (2003). PHOTO-NET II: a computer-based monitoring system applied to project management. En *Automation in Construction*, Volume 12, Number 5, (págs. pp. 603-616 (14)). Elsevier.
- Acciona. (2006). Memorias de Sostenibilidad : ACCIONA S.A.;Dirección General de Relaciones Institucionales;Marketing Corporativo y RSC. En *MEMORIA ANUAL 2006* (pág. 84). España.
- Acevedo, C. (2014). *CAMARAS IP: MONITOREO VIRTUAL DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN* . Medellín: Universidad EAFIT.
- Alarcón, I. J., Martínez, J., & Martínez, D. C. . (2013). BIM como base de datos al servicio de ciclo de vida del edificio. En *Libro de actas EUBIM 2014*.
- Alcaldía de Bogotá. (2015 de 09 de 1989). *DECRETO 2090 DE 1989*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=27983>
- ALLPLAN. (2015). *ALLPLAN*. Obtenido de A NEMETSCHEK COMPANY: <http://www.allplan.com/es.html>
- Aquino, C. N. (12 de 01 de 2014). *Blogs O.E.I.* Obtenido de Métodos o Herramientas más usadas en la gestión de proyectos: <http://www.eoi.es/blogs/mintecon/2014/01/12/metodos-o-herramientas-mas-usadas-en-la-gestion-de-proyectos/>
- Autodesk. (2013). *Autodesk*. Obtenido de Lesson 5: Using BIM for operations and facilities management.: <http://bimcurriculum.autodesk.com/lesson/lesson-5-using-bim->
- Autodesk. (2015). *Autodesk*. Obtenido de BIM: BUILDING INFORMATION MODELING : <http://www.autodesk.com/solutions/building-information-modeling/overview>
- Autodesk Navisworks. (2015). *Autodesk*. Obtenido de Navisworks: <http://www.autodesk.com/products/navisworks/overview>
- Autodesk Revit. (2015). *Autodesk*. Obtenido de Revit: <http://www.autodesk.es/products/revit-family/overview>
- Azhar, S., Hein, M., & Sketo, B. (2007). *Building information modeling (BIM): Benefits, risks and challenges*.
- Bautista, M. A. (2007). *Gerencia de proyectos de construcción inmobiliaria. Fundamentos para la gestión de la calidad* . Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=GdDkM6k4IGEC&hl=es>
- Botero, T. S. (2013). *APLICACIÓN DE LA REALIDAD VIRTUAL EN LA ENSEÑANZA DE LA INGENIERIA DE*. Universidad Eafit Medellín, Colombia: Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Ingeniería, con énfasis en Gestión de la Construcción.

- CAMACOL . (02 de 27 de 2015). *La construcción aportó 25% de los nuevos puestos de trabajo en el país*. Recuperado el 20 de 07 de 2015, de <http://camacol.co/noticias/la-construccion-25-de-los-nuevos-puestos-de-trabajo-en-el-pais>
- CAMACOL. (2008). *Competitividad de la actividad constructora de edificaciones: diagnóstico y recomendaciones de política* . Bogotá: CAMACOL-Presidencia Nacional Consejo Privado de Competitividad. Obtenido de http://camacol.co/sites/default/files/secciones_internas/ArtPres_200803110
- CAMACOL. (2009). *Importancia del sector de la construcción para el desarrollo económico de los países y la informalidad que se presenta en las ciudades*. Bogotá. Obtenido de http://camacol.co/sites/default/files/secciones_internas/ArtPres_20090612060544_0.pdf
- CAMACOL. (AGOSTO-OCTUBRE de 2011). HITOS DE LA CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA. *URBANA. Revista de la construccion sostenible*, 20.
- Chen L., L. H. (2014). *A BIM-based construction quality management model and its applications*. Wuhan 430074, China: School of Civil Engineering & Mechanics, Huazhong University of Science & Technology. Obtenido de www.elsevier.com/locate/autcon
- construction-innovation. (2004). *construction-innovation*. Obtenido de http://www.construction-innovation.info/images/pdfs/conference_cd_2004/Presentation-MartinFischer.pdf
- Corporación Colombia Digital. (2012). *Aprender y educar con las tecnologías del Siglo XXI*. Bogotá D.C. : Corporación Colombia Digital. Obtenido de <http://cmap.javeriana.edu.co/servlet/SBReadResourceServlet?rid=1KRS0DP7S-1YWQ573-3CX>
- DANE. (2015). *Indicadores Económicos Alrededor de la Construcción- IEAC I trimestre de 2015*. Bogotá. Obtenido de http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib_const/Bol_ieac_ltrim15.pdf
- Departamento Nacional de Planeación. (2014). *Guía para la construcción y estandarización de la Cadena de valor*. Obtenido de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Inversiones%20y%20finanzas%20pblicas/Guia_7_Pasos_v%204%201.pdf
- D-Link. (2012). *D-Link*. Obtenido de <http://www.dlinkla.com/dcs-2102>
- Dos Santos, D. (09 de 2007). *Teoría y aplicaciones de la Informática 2. Realidad Virtual*. Obtenido de http://www.jeuazaru.com/docs/Realidad_Virtual.pdf
- Duque, S. D. (2013). *Building Information Modeling (BIM) e Integrated Project Delivery (IPD): Caso de estudio de detección de incongruencias en un proyecto de edificación*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.

- Earthcam. (2015). *Earthcam.net*. Obtenido de <https://www.earthcam.net/software/>
- Estructuras & Sísmica S.A.S. (2012). *IDEO (Inspector DE Obra)*. Medellín .
- Fajardo, M. (2015). *MODELO DE INTEGRACIÓN DISEÑO-PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE PARA PROYECTOS INMOBILIARIOS EN COLOMBIA*. MEDELLIN: UNIVERDIDAD EAFIT.
- García, D. I., & Marín, J. I. . (2014). Ventajas de la interoperabilidad entre BIM y FM. . En D. I. García García, *Libro de actas EUBIM 2014* (pág. 103). Valencia.
- García, G. (27 de MARZO de 2014). *BIM ME*. Obtenido de ArtículosBIM, BIM Dimensions: <http://sesentayseis.es/bim/category/articulos/>
- GEUPC. (28 de 12 de 2005). *GEPUC*. Obtenido de http://www.gepuc.cl/noticias/documentos/LR_GEPUC_2005-28Dic05.pdf
- GITS Informática . (2013). *GITS Informática* . Obtenido de Realidad Aumentada (RA), Realidad Virtual (RV) y otros recursos educativos en la red: <http://www.gitsinformatica.com/ra.html>.
- Gorosito, L. (2014). Gestión Revit 2013 y la gestión integral de proyectos. En *libro de actas EUBIM 2014* (pág. 64).
- Guzmán, R., Hernández, G. (2013). *Sistema de monitoreo de fallas en cámaras IP*. Mexico D.F.: Tesis: para obtener el título de: Ingeniero en comunicaciones y electrónica .
- International Facility Management Association (IFMA). (2011). *International Facility Management Association (IFMA)*. Obtenido de Qué es facility management.: http://www.ifmaspain.org/facility_management.php
- Kim C., Kim B., Kim H. (2013). 4D CAD model updating using image processing-based construction progress monitoring. En *Automation in Construction* (págs. 35, 44-52). Elsevier. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580513000332>
- Lledó, P., Rivarola, G., Mercáu, R., & Cucchi, D. (2006). *Administración LEAN de proyectos Eficiencia en la gestión de múltiples proyectos*.
- Montero, G. (16 de 05 de 2012). *Ideas sencillas para la gestion de proyectos*. Obtenido de <http://www.ideassencillas.com/2012/05/la-historia-de-la-gestion-de-proyectos.html>
- Morales, M. (01 de 16 de 2007). *Tendencias 21*. Obtenido de Tendencias de las Telecomunicaciones.: http://www.tendencias21.net/La-realidad-virtual-se-integra-en-los-procesos-industriales_a1333.html
- Orduz, R. (2012). Sociedad del Conocimiento y Tecnologías de la Información. *Aprender y educar con las tecnologías del siglo XXI*, 11-14. Obtenido de <http://cmap.javeriana.edu.co/servlet/SBReadResourceServlet?rid=1KRS0DP7S-1YWQ573-3CX>
- Ortigueira, C.; Reigosa, M.; Rodríguez, M.; Santamaría C.; y Veiga, J. . (2012). *SABIA*. Obtenido de Contenidos Gráficos:

<http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicionales/trabajos/3D/Realidad%20Virtual/web/introduccion.html>

Palacio, C. (2013). *Tendencias y desafíos en la formación de Ingenieros Civiles*. Ingeniería Y Sociedad.

Popov, V., Juocevicius, V., Migilinskas, D., Ustinovichius, L., & Mikalauskas, S. (2009). The use of virtual building design and construction model for developing an effective project concept in 5D environment. En *Automation in Construction* (pág. 357).

Project Management Institute. (2008). *La Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía PMBOK®)*.

Project Management Institute. (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*. Obtenido de http://www.academia.edu/7785329/Project_Management_Body_of_Knowledge_PMBOK_Guide_Autor_Project_Management_Institute_G%C3%A9nero_gesti%C3%B3n_de_proyectos_Idioma_ingl%C3%A9s_T%C3%ADtulo_original_A_Guide_to_the_Project_Management_Body_of_Knowledge_PMBOK_Guide

Project Management Institute. (2015). *Project Management Institute*. Recuperado el 2015, de What is project management?: <http://www.pmi.org/en/About-Us/About-Us-What-is-Project-Management.aspx>

Radiustrack. (2010). *Radiustrack*. Obtenido de <http://www.radiustrack.com/project-gallery/project/walt-disney-concert-hall>

Real M, L. (2014). Uso de BIM en proyectos de gran escala. En *EUBIM 2014 - Libro de actas* 116.

Reyes, A. M., Candelario, A., Méndez, F., Cortés, J. P., & Prieto, A. P. . (s.f.). Adopción de la tecnología BIM en la asignatura "proyectos" de los grados de ingenierías industriales. En 2014, *EUBIM 2014* 159.

Sarosh, H. L., Syed, M. A., Rizwan, U. F., & Muhammad, S. (2008). *First international conference on construction in developing countries "Advancing and integrating construction education, research & practice"*.

Smith, P. (2014). BIM & the 5D project cost manager. . En *Social and Behavioral Sciences* (pág. 476).

Tekla BIMsight. (2015). *Tekla BIMsight*. Obtenido de <http://www.teklabimsight.com>

The american institute of architects: AIA. (2007). *Integrated Project Delivery: a Guide*. Obtenido de http://info.aia.org/siteobjects/files/ipd_guide_2007.pdf

Trebbe M., Hartmann T., Dorée A. (2014). *4D CAD models to support the coordination of construction activities*. ELSEVIER.

Vico Software, Inc. (2015). *Vico Software*. Obtenido de Virtual Construction: <http://www.vicosoftware.com/>